

PRODUÇÃO DE MASSAS ALIMENTÍCIAS ISENTAS DE GLÚTEN A PARTIR DE SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA ALIMENTAR

Ana Filipa Onofre Félix Rocha

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Alimentar

Orientador: Doutora Anabela Cristina da Silva Naret Moreira Raymundo

Co-Orientador: Doutora Isabel Maria Nunes de Sousa

Júri:

Presidente: Doutora Margarida Gomes Moldão Martins, Professora Auxiliar com Agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutora Anabela Cristina da Silva Naret Moreira Raymundo, Professora Auxiliar com Agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutora Ana Paula Dos Santos Batista, Bolseira de Pós-Doutoramento do Laboratório Nacional de Energia e Geologia

Lisboa, 2015

AGRADECIMENTOS

Durante a execução deste trabalho pude contar com a cooperação, a paciência e o empenho de muitas pessoas a quem gostaria de conceder os meus agradecimentos.

Em primeiro lugar, à minha orientadora Prof.^a Doutora Anabela Raymundo que orientou este trabalho desde o início, demonstrando-se sempre solícita a esclarecer todas as dúvidas que foram surgindo com muita paciência, compreensão e amizade. Deixo também um obrigado ao incentivo, ao espírito crítico e ao entusiasmo que me transmitiu e que me fez querer sempre fazer mais e melhor.

À minha co-orientadora, Prof.^a Doutora Isabel Sousa, sem a qual a realização deste trabalho não seria possível.

Aos meus colegas de laboratório que me apoiaram sempre que precisei, em especial à investigadora e Eng.^a Patrícia Fradinho que abdicou de muito do seu tempo para me ajudar na resolução de vários problemas que foram surgindo ao longo deste trabalho e que partilhou comigo informações cruciais para o desenvolvimento do mesmo.

Deixo um profundo obrigado à minha família excepcional, porque tudo o que sou hoje devo-o a eles, pelos sacrifícios que fizeram, pela tolerância, carinho e conselhos que me deram ao longo da vida, incentivando-me a nunca desistir dos meus objectivos. Aos meus pais, tenho muito a agradecer, mas neste caso agradeço por me terem incentivado a escolher este caminho e a nunca desistir.

Aos meus amigos, que me acompanharam nesta jornada e aqueles que me acompanharam em todas as outras ao longo da vida, que escutaram muitas queixas e lamentações sem reclamar e que dedicaram algum do seu tempo e amizade para me ajudar a solucionar alguns problemas que apareceram no decorrer deste trabalho, agradeço-vos do fundo do coração.

RESUMO

Actualmente observa-se um aumento do número de casos de intolerâncias e alergias alimentares associadas ao consumo de cereais com glúten. Como tal, é emergente o desenvolvimento de novos produtos que tenham a capacidade de suprir as necessidades alimentares deste grupo de consumidores. Este trabalho surgiu neste contexto e visou o desenvolvimento de novas formulações de massas alimentícias frescas isentas de glúten a partir de subprodutos da indústria do arroz (farinha de trinca de arroz carolino e farelo de arroz carolino estabilizado) e de farinha de milho.

Realizou-se um estudo para identificação de massas alimentícias para celíacos existentes no mercado português, utilizadas como base comparativa às formulações a desenvolver. Paralelamente, gelatinizou-se uma parte da farinha de arroz para incorporação nas massas alimentícias frescas isentas de glúten. O comportamento dos diversos géis de farinha de arroz carolino (40%(m/m), 50%(m/m) e 60%(m/m)) foi avaliado através da realização de testes em regime oscilatório envolvendo variações de temperatura entre os 20°C e os 80°C durante 7200s, 3600s e 1800s. Concluiu-se que o gel produzido com 40%(m/m) de farinha de arroz carolino durante 1800s apresentou as características ideais para incorporar na produção das massas alimentícias frescas isentas de glúten. Realizou-se a análise do perfil de textura das diversas formulações e comparou-se os resultados obtidos com uma massa alimentícia fresca de trigo controlo. Determinou-se também o a_w , a cor, o teor de humidade, o tempo óptimo de cozedura, a perda de sólidos solúveis, o índice de inchamento e a absorção de água, tal como a firmeza e extensibilidade das formulações de massas alimentícias frescas isentas de glúten que apresentaram características similares às verificadas na massa de trigo controlo. Observou-se que as amostras cuja formulação incorporou farinha de milho (MM1 e MMF1) obtiveram uma maior aprovação por parte dos consumidores face às restantes e que a adição de farelo melhorou significativamente a textura das massas (MAF1 e MMF1) comparativamente com as formulações iniciais (MA2 e MM1). No entanto, verificou-se que a adição de farelo às formulações aumentou não só a perda de sólidos solúveis mas também a absorção de água por parte das massas alimentícias isentas de glúten.

Palavras-chave: massas isentas de glúten, géis de arroz, farinha de arroz, farelo de arroz estabilizado, farinha de milho.

ABSTRACT

Currently, food sensitivities like allergies and intolerances are increasing, especially those associated to the consumption of cereals with gluten. As such, it is emerging the development of new products that meet the dietary needs of this group of consumers. In this context, the aim of this study was the development of new formulations of gluten-free pasta, starting from rice industry products, in particular from *carolino* broken rice flour with addition of stabilized bran from *carolino* rice and corn flour.

We carried out a market study, which were selected some samples of pasta for celiac people to be compared with the developed formulations. It was gelatinized some of the rice flour, in order to develop formulations whose characteristics correspond to those required by consumers. The behaviour of the various *carolino* rice flour gels (40%(w/w), 50%(w/w) and 60%(w/w)) was evaluated by performing oscillation temperature tests with a variation characterized by temperature between 20°C and 80°C for 7200s, 3600s and 1800s. Through the obtained results a gel was produced and incorporated with the remaining ingredients and several pasta formulations were produced. These were subjected to TPA and compared with control wheat dough. After selection of the formulations was determined a_w , colour, moisture content, optimal cooking time, loss of soluble solids, swelling index and water absorption. The texture of the pasta was analysed by cutting test and the tension test. It was found that samples which formulation incorporating corn flour (MM1 and MMF1) had a greater adoption by consumers over the others, and the addition of bran significantly improved the texture of the pasta (MAF1 and MMF1) compared with initial formulations (MA2 and MM1). It was observed however that the addition of bran to the formulations increased not only the loss of soluble solids but also absorption of water by the pasta.

Keywords: gluten-free pasta, rice gels, rice flour, stabilized rice bran, corn flour.

EXTENDED ABSTRACT

Celiac disease is characterized by a permanent intolerance to gluten ingestion. This leads to the rejection of many foods in the diet of these individuals including those which contain cereals such as wheat, rye and barley. In this context rises the need for substitute foods such as the pasta, bread, crackers and bases for pizza, which do not contain traces of gluten in its constitution.

Pasta for celiac people has in their composition other flours such as corn flour, tapioca flour, rice flour, among others. However, the production of pasta using these grains raises serious questions from the industrial point of view, since to obtain a product of acceptable quality it is necessary to resort to alternative processes such as the gelatinization of starch flours.

During this research it was conducted a market study where we found that there are no fresh pasta for celiac available so far. Thus this work was based on the creation of this product from *carolino* broken rice flour. However, a lot of formulations were also studied with corn meal and with and without incorporation of stabilized rice bran.

As stated before, the gelatinization of rice flour is an essential step to obtain pasta with good quality. As such, some gels formulations were made with water and *carolino* rice flour with different concentrations (40%(w/w), 50%(w/w) and 60%(w/w)). These samples were analysed by a controlled stress rheometer MARS III (HAAKE) and a temperature sweep test was carried out in order to determine the gelatinization time/temperature of the starch present in the flour.

The optimum gel formulation was achieved with 40%(w/w) of rice flour and 60% water, in a water bath at a temperature of 95°C, with mechanical stirring for 20, 30 and 40 minutes, in this case four replicates were performed for each time. After maturing time, these gels were subjected to TPA test (Texture Profile Analysis) in order to determine the textural characteristics of the gel.

After that it was carried out the production of pasta. At the first stage was created a control pasta with wheat flour to make the comparison and choose among the other gluten free formulations developed. The salt content and egg albumin was kept constant for all the experiments, but several formulations were tested with different gel concentration 21.65%(w/w) (MA1), 64.95%(w/w) (MA3) and 43.3%(w/w) (MA2). These formulations were subjected to a TPA and Compression tests to verify which one had closer control features. The formulations MA2 with 43,3%(w/w) of gel were selected among the others.

Thereafter, various formulations were created with different percentages of corn flour, 10.825%(w/w) (MAM1), 21.65%(w/w) (MAM2), 32.475%(w/w) (MAM3) and 43.3%(w/w) (MM1), which was partially replacing the flour *carolino* broken rice used in the initial formulation. For these formulations TPA test was applied, as before the sample more similar with control was choosen. In this step it was selected the MM1 (43,3%(w/w) corn flour) sample, since this presents the best characteristics of texture (adhesiveness and firmness).

The next step was the addition of *carolino* stabilized rice bran to the two formulations (MA2 and MM1). The stabilized bran replaced the percentage of flour used in the production of pasta 1%(w/w) (MAF1 and MMF1), 1.5%(w/w) (MAF2 and MMF2) and 2%(w/w) (MAF3 and MMF3). These formulations were subjected to the TPA test as the others before, and selected the best samples (MAF1 and MMF1). It was observed that the presence of bran improve the texture properties of the

samples, however when concentration is higher (1,5%(w/w) and 2%(w/w)) the pasta became more firm.

When formulations were chosen, these were laminated several times until obtain a good compact structure. All the samples were performed in the same conditions. It was determined the color, a_w , texture (adhesiveness and firmness) and quality technological parameters (optimum cooking time, loss of soluble solids, swelling index and absorption of water), for the samples MTC, MA2, MM1, MAF1 and MMF1. The commercial samples (MAM, MRQ, MA, MTF) were also analyzed regarding color, texture (adhesiveness and firmness) and quality technological parameters (optimum cooking time, loss of soluble solids, swelling index and absorption of water).

The tests results were compared between all formulations. It was observed that there are significant differences among the pasta formulations, since all the commercial samples were dried unlike the developed in this work. The differences in technology processes as well as the use of different ingredients in the various formulations contribute to obtain significant differences among all the products.

Finally there was the sensorial analysis of the chosen formulations. At this stage the samples MA2, MM1, MAF1 e MMF1 were analyzed in order to determine the best sample and checking if the panel of tasters detected or not the presence of bran flavor and color changes in pasta.

It was concluded that the samples with corn flour (MM1 and MMF1) in their composition were preferred, not only because of color but also due to the high firmness when compared with the others formulations (MA2 and MAF1). This product represents an excellent basis for future industrial developments since it is an easy product to prepare and the raw materials used in this confection are quite economic.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
EXTENDED ABSTRACT	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE QUADROS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XII
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA	1
1.2. OBJECTIVOS E PLANO GERAL DA DISSERTAÇÃO.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. DOENÇA CELÍACA.....	4
2.1.1. Patogénese da doença celíaca	4
2.1.2. Epidemiologia da doença celíaca.....	4
2.1.3. Apresentação clínica da doença celíaca	5
2.1.4. Diagnóstico da doença celíaca.....	6
2.1.5. Tratamento da doença celíaca	7
2.1.6. Outras doenças associadas ao glúten	7
2.2. O GLÚTEN	8
2.3. MASSAS ALIMENTÍCIAS	9
2.4. MASSAS ALIMENTÍCIAS DE ARROZ	10
2.4.1. Arroz	12
2.4.2. Farinha de arroz	14
2.4.3. Gelatinização do amido	15
I. Amido de arroz	15
II. Gelatinização do amido	17
III. Retrogradação do amido	19
2.4.4. Farelo de arroz	20
2.4.5. Farinha de milho	21
2.4.6. Aditivos que melhoram a textura das massas alimentícias isentas de glúten	21
2.5. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS MASSAS ALIMENTÍCIAS.....	23
2.5.1. Comportamento reológico	23
2.5.2. Análise de textura	24
2.6. COR.....	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	30

3.1.	MATERIAIS.....	30
3.1.1.	Materiais utilizados na caracterização das massas alimentícias disponíveis no mercado	30
3.1.2.	Materiais utilizados na produção dos géis e das massas alimentícias frescas isentas de glúten	31
3.1.3.	Equipamentos e utensílios	32
3.2.	MÉTODOS.....	33
3.2.1.	Caracterização das massas alimentícias comerciais disponíveis no mercado	33
3.2.2.	Determinação das propriedades reológicas dos géis	33
3.2.3.	Elaboração do gel.....	35
3.2.4.	Preparação das massas alimentícias.....	35
3.2.5.	Avaliação da textura	37
I.	Teste análise de perfil de textura (TPA)	38
II.	Teste de compressão	38
III.	Teste de corte.....	39
IV.	Teste de tensão	39
3.2.6.	Determinação da humidade	40
3.2.7.	Determinação da cor	40
3.2.8.	Parâmetros tecnológicos de cozedura	41
I.	Tempo óptimo de cozedura.....	41
II.	Índice de inchamento	41
III.	Perda de sólidos solúveis	42
IV.	Absorção de água.....	42
3.2.9.	Análise sensorial.....	42
3.2.10.	Métodos estatísticos	43
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS ALIMENTÍCIAS COMERCIAIS EXISTENTES NO MERCADO	44
4.2.	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS GÉIS PRODUZIDOS E UTILIZADOS NA FORMULAÇÃO DAS MASSAS ALIMENTÍCIAS.....	46
4.2.1.	Efeito da concentração de farinha de arroz carolino nas características de gelificação - aquecimento	46
4.2.2.	Efeito da concentração de farinha de arroz carolino nas características de gelificação - arrefecimento.....	48
4.2.3.	Impacto do tempo de aquecimento nas características dos géis de farinha de arroz	49
4.3.	AVALIAÇÃO DA TEXTURA DOS GÉIS	50
4.4.	EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DO GEL NAS CARACTERÍSTICAS DE TEXTURA DAS MASSAS ALIMENTÍCIAS	52
4.4.1.	Teste TPA.....	52
4.4.2.	Teste de compressão	54

4.5.	CARACTERÍSTICAS DE TEXTURA DAS MASSAS ALIMENTÍCIAS – OPTIMIZAÇÃO DAS FORMULAÇÕES..	55
4.6.	CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS ALIMENTÍCIAS ISENTAS DE GLÚTEN	58
4.6.1.	Humidade	58
4.6.2.	Avaliação da Cor	58
4.6.3.	Parâmetros tecnológicos de cozedura	68
4.6.4.	Análise da textura	72
4.7.	ANÁLISE SENSORIAL	79
5.	CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	81
5.1.	CONCLUSÕES GERAIS	81
5.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	82
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
	ANEXOS.....	I
	ANEXO I - APRECIÇÃO GLOBAL DE MASSAS ALIMENTÍCIAS FRESCAS ISENTAS DE GLÚTEN.....	II
	ANEXO II – ICNF 2015, 2ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE FIBRAS NATURAIS, AÇORES, PORTUGAL. REALIZADA NOS DIAS 27, 28 E 29 DE ABRIL DE 2015.	III
	ANEXO III – IBEREO 15, DESAFIOS NA REOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS, COIMBRA, PORTUGAL. REALIZADA NOS DIAS 7, 8 E 9 DE SETEMBRO DE 2015.	IV

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Mucosa intestinal de dois indivíduos, mucosa de um doente celíaco (A) e mucosa de um indivíduo saudável (B).	6
Figura 2 – Doenças associadas ao consumo de glúten e respectiva patogénese.	7
Figura 3 – Processamento do arroz branqueado.	12
Figura 4 - Corte longitudinal e transversal de um grão de arroz.	13
Figura 5 – Estrutura molecular da amilose.	15
Figura 6 – Estrutura molecular da amilopectina.	16
Figura 7 – Estrutura interna dos grânulos de amido.	16
Figura 8 - Representação de um teste de Análise de perfil de textura (TPA).	25
Figura 9 – Espaço de cor CIE L*a*b*.	28
Figura 10 - Massas alimentícias comerciais cruas seleccionadas como termo de comparação no desenvolvimento de massas alimentícias frescas isentas de glúten.	31
Figura 11 – Reómetro HAAKE MARS III.	34
Figura 12 - Laminação de duas massas alimentícias frescas isentas de glúten com recurso à máquina Atlas 150 Wellness, MA1 à esquerda e MM1 à direita.	37
Figura 13 – Texturómetro TA.XT.plus.	38
Figura 14 – Teste de corte (sonda HDP/BSG).	39
Figura 15 – Teste de extensibilidade (sonda A/TG).	40
Figura 16 – Tempo óptimo de cozedura da amostra controlo (MTC) durante 9 min.	41
Figura 17 - Curva de aquecimento entre os 20 e os 80°C para géis com diferentes concentrações de farinha.	46
Figura 18 - Curva de arrefecimento entre os 80 e os 20°C para géis com diferentes concentrações de farinha.	48
Figura 19 – Curva de aquecimento do gel com 40%(m/m) de farinha, entre os 20 e os 80°C durante diferentes tempos, 30 min, 1h e 2h.	49
Figura 20 – Firmeza (N) dos géis produzidos a partir de farinha de trinca de arroz carolino (40%(m/m)) a 95°C durante 20, 30 e 40 minutos.	50
Figura 21 - Adesividade (N.s) dos géis produzidos a partir de farinha de trinca de arroz carolino (40%(m/m)) a 95°C durante 20, 30 e 40 minutos.	51
Figura 22 – Amostras de massas alimentícias frescas isentas de glúten (MA1, MA2 e MA3) com diferentes concentrações de gel.	52
Figura 23 - Firmeza (N) das massas alimentícias com diferentes concentrações de gel de arroz (40%(m/m)) em comparação com a massa de trigo controlo (MTC).	53
Figura 24 - Adesividade (N.s) das massas com diferentes concentrações de gel de arroz (40%(m/m) de farinha de arroz) em comparação com as massas de trigo controlo (MTC).	54
Figura 25 - Firmeza (N) das massas com diferentes concentrações de gel de arroz (40%(m/m) de farinha de arroz) em comparação com a massa de trigo controlo (MTC).	54

Figura 26 – Massas alimentícias frescas isentas de glúten com incorporação de diferentes quantidades de farinha de milho (10,825%(m/m), 21,65%(m/m), 32,475%(m/m) e 43,3%(m/m)).....	55
Figura 27 – Firmeza (N) das massas alimentícias frescas isentas de glúten com diferentes formulações em comparação com a massa de trigo controle.....	56
Figura 28 - Adesividade (N.s) das massas alimentícias frescas isentas de glúten com diferentes formulações em comparação com a massa de trigo controle.....	57
Figura 29 - Saturação da cor das massas alimentícias comerciais, cruas e cozidas.....	59
Figura 30 - Saturação da cor das massas alimentícias frescas isentas de glúten, cruas e cozidas, em comparação com a massa controle.....	60
Figura 31 - Saturação da cor de todas as massas alimentícias analisadas, cruas e cozidas.	61
Figura 32 – Tonalidade (h°) das massas alimentícias comerciais, cruas e cozidas.....	62
Figura 33 – Tonalidade (h°) das massas alimentícias frescas isentas de glúten, cruas e cozidas, comparativamente com a massa controle.....	63
Figura 34 – Tonalidade (h°) de todas as massas alimentícias analisadas, cruas e cozidas.....	64
Figura 35 – Diferença de cor entre as amostras de massas alimentícias comerciais, cruas e cozidas.	65
Figura 36 –Diferença de cor entre as amostras de massas alimentícias frescas isentas de glúten e a massa controle, cruas e cozidas.....	66
Figura 37 – Diferença de cor entre todas as amostras de massas alimentícias analisadas, cruas e cozidas.....	67
Figura 38 - Massas alimentícias frescas laminadas com diferentes composições: MAF1 (42,3% de farinha de arroz e 1% de farelo) e MMF1 (42,3% de farinha de milho e 1% de farelo).	68
Figura 39 - Firmeza das massas alimentícias comerciais cozidas.....	73
Figura 40 - Extensibilidade das massas alimentícias comerciais cozidas.	74
Figura 41 - Firmeza das massas alimentícias frescas isentas de glúten cozidas comparativamente com a massa controle.	75
Figura 42 - Extensibilidade das massas alimentícias frescas isentas de glúten cozidas comparativamente com a massa controle.....	76
Figura 43 - Firmeza de todas as massas alimentícias analisadas (comerciais e frescas) cozidas.....	77
Figura 44 - Extensibilidade de todas as massas alimentícias analisadas (comerciais e frescas) cozidas.....	78
Figura 45 - Perfil sensorial das massas alimentícias frescas isentas de glúten.....	79

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Formas da doença celíaca e respectivos sintomas associados.	6
Quadro 2 - Tipos de testes utilizados na determinação das propriedades viscoelásticas dos materiais.	24
Quadro 3 - Principais parâmetros obtido no teste TPA relacionados com a avaliação sensorial dos alimentos.	26
Quadro 4 – Codificação das massas alimentícias comerciais de acordo com a sua composição descrita na embalagem.	30
Quadro 5 - Composição nutricional por 100g de produto das farinhas e do farelo utilizados na confecção das massas alimentícias frescas.	32
Quadro 6 - Tempo óptimo de cozedura das massas comerciais, consoante as recomendações do respectivo fornecedor.	33
Quadro 7 – Formulações das massas alimentícias frescas isentas de glúten (em %) com diferentes quantidades de gel, de farinha de arroz, de farinha de milho e de farelo.	36
Quadro 8 – Massas alimentícias isentas de glúten disponíveis no mercado português, respectivos fornecedores, composição, preço distribuidor e origem.	45
Quadro 9 - Humidade das massas alimentícias frescas isentas de glúten em comparação com o controlo.	58
Quadro 10 – Parâmetros de cozedura (tempo óptimo de cozedura, perda de sólidos solúveis, índice de inchamento e absorção de água) das massas alimentícias comerciais.	69
Quadro 11 - Parâmetros de cozedura (tempo óptimo de cozedura, perda de sólidos solúveis, índice de inchamento e absorção de água) das massas alimentícias frescas isentas de glúten.	70
Quadro 12 - Parâmetros de cozedura (tempo óptimo de cozedura, perda de sólidos solúveis, índice de inchamento e absorção de água) das massas analisadas (comerciais e frescas).	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

APC – Associação portuguesa de celíacos

DC – Doença celíaca

DIG – Dieta isenta de glúten

DSC – Differential scanning calorimetry

GA – Gluten ataxia (Ataxia ao glúten)

GF – Gluten free

HLA - Human leukocyte antigens (Antígenos de histocompatibilidade humano)

HMT - Heat Moisture Treatment

NCGS – Non-coeliac gluten sensitivity (Sensibilidade ao glúten não celíaca)

SEC – Size exclusion chromatography

TPA - Texture profile analysis (Análise do perfil de textura)

tTG – Transglutaminase tecidual

WA – Wheat allergy (Alergia ao trigo)

WDEIA - Wheat-dependent exercise-induced anaphylaxis

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. Enquadramento do tema

O interesse das populações por alimentos que contribuem para a manutenção da saúde tem crescido nos últimos anos.

Os denominados alimentos funcionais ajudam a diminuir o risco de doenças e proporcionam benefícios nutricionais, dietéticos e metabólicos específicos (Rotimi, 2012). Estes alimentos melhoram significativamente a qualidade de vida das populações, designadamente quando existem algumas susceptibilidades, como é o caso de doenças relacionadas com alergias e intolerâncias alimentares.

É importante distinguir que uma intolerância alimentar e uma alergia são situações clínicas diferenciadas. No primeiro caso, o indivíduo apresenta uma reacção adversa relacionada com o metabolismo do alimento mas que não envolve o sistema imunológico, está relacionada com outros factores como as deficiências enzimáticas, toxicológicas, entre outras e não causa risco de vida ao portador da intolerância (Gendel, 2014). Por sua vez, a alergia alimentar resulta de uma reacção alérgica provocada pelo sistema imunológico e é específica de alguns constituintes dos alimentos que são inofensivos para a maioria dos indivíduos. Estas reacções são mediadas por anticorpos, células ou ambos, produzidos pelo organismo e em muitas situações colocam em risco a saúde (Borges *et al*, 2003, Gendel, 2014). No entanto, ambas podem ser desencadeadas pelo mesmo constituinte, um exemplo clássico é o glúten que é responsável pela doença celíaca (DC), pela alergia ao trigo (WA), pela sensibilidade ao trigo não celíaca (NCGS), pela ataxia ao glúten (GA) e pela dermatite hepertiforme, entre outras (Sapone *et al*, 2012).

O glúten desempenha uma função crucial na indústria de transformação dos cereais (Kill *et al*, 2001) e como tal a sua substituição na alimentação apresenta um desafio não só para os consumidores com necessidades alimentares específicas, mas também para as indústrias alimentares que tentam suprir o aumento da procura e encontrar uma forma de melhorar as características de sabor e textura destes produtos (Arendt *et al*, 2008; Silva *et al*, 2008; Moura, 2011; Marti *et al*, 2013; Susanna *et al*, 2013).

As massas alimentícias são um exemplo clássico de alimento onde o glúten desempenha um papel crucial nas características texturais. Extremamente populares nos dias de hoje, apreciadas mundialmente e enraizadas na dieta das populações desde tempos ancestrais (Kill *et al*, 2001; Ormenese *et al*, 2002), as massas alimentícias ganham a preferência dos consumidores pela conveniência e versatilidade que apresentam face a outros produtos (Moura, 2011). Todavia, a crescente evolução do sector alimentar e o aumento de intolerâncias e alergias associadas ao consumo do glúten desencadearam a necessidade de inovar através do desenvolvimento de novas formulações.

Neste contexto é essencial procurar novas matérias-primas que possam ser integradas na produção de massas alimentícias com vista a melhorar as suas características nutricionais e sensoriais (Fiorda *et al*, 2013).

Na indústria alimentar e no caso específico dos alimentos isentos de glúten é frequente utilizar o milho e o arroz como substitutos do trigo, dado que são culturas amplamente apreciadas no

mundo inteiro e com elevada aceitação por parte das populações (Arendt *et al*, 2008; Silva *et al*, 2008; Moura, 2011).

O arroz (*Oryza sativa*, L.) é uma das principais fontes de calorias e proteínas na alimentação de mais da metade da população mundial (Luh, 1991; Maclean *et al*, 2002). Comparativamente a outros cereais apresenta uma grande digestibilidade, um alto valor biológico, uma taxa de eficiência proteica elevada, um índice glicémico baixo e é uma boa fonte de glúcidos nomeadamente amido (Zandonadi, 2006; Severo *et al*, 2010; Moura, 2011; Aravind *et al*, 2012; Wani *et al*, 2012).

Durante o processo de produção do arroz são obtidos três tipos de sub produtos, a casca (20%), o farelo (11%) e a trinca de arroz (14-15%) que é constituída pelos grãos de arroz partidos (Luh, 1991; Maclean *et al*, 2002; Weber, 2012), estes são normalmente utilizados na alimentação animal ou na produção de farinha de arroz.

A farinha de arroz e a farinha de milho desempenham um papel importante na produção de alimentos para celíacos, nomeadamente na produção de massas alimentícias isentas de glúten (Arendt *et al*, 2008). No entanto, ao contrário da farinha de trigo, a ausência de uma rede proteica estruturada, formada pelo glúten, conduz à formação de uma massa muito firme e demasiado adesiva. Tal facto foi constatado em alguns trabalhos publicados sobre a produção de massas alimentícias a partir destes produtos (Marti *et al*, 2013).

Uma vez que as dietas isentas de glúten são caracterizadas por uma ingestão desequilibrada de nutrientes onde é verificado um consumo excessivo de glúcidos e lípidos enquanto a ingestão de minerais, proteínas e aminoácidos essenciais é inferior à recomendada, (Arendt *et al*, 2008; Padalino *et al*, 2013; Rosell *et al*, 2014) torna-se essencial desenvolver novos produtos nutricionalmente enriquecidos (Arendt *et al*, 2008).

Nestas circunstâncias a incorporação de farelo de arroz apresenta uma possibilidade viável sob o ponto de vista nutricional. Contudo, a sua adição leva ao desenvolvimento de um alimento mais heterogéneo e sob o ponto de vista sensorial pode criar alguns inconvenientes relativamente à aceitação dos consumidores, uma vez que foi verificado o mesmo nas massas de trigo com incorporação de farelo (Aravind *et al*, 2012).

Actualmente verifica-se que o desenvolvimento de produtos isentos de glúten está a aumentar, frequentemente surgem novos alimentos com novas formulações e as indústrias estão a apostar no seu desenvolvimento (Arendt *et al*, 2008). No entanto, existem alguns factores que influenciam este aumento da oferta, tais como o incremento do número de doentes celíacos diagnosticados, o crescente interesse dos países em efectuar trocar comerciais neste mercado em expansão e a importância da alimentação saudável que conduz à aquisição destes produtos por parte de consumidores que não são portadores da doença celíaca (Arendt *et al*, 2008; Rosell *et al*, 2014).

1.2. Objectivos e plano geral da dissertação

O presente estudo visou o desenvolvimento de massas alimentícias isentas de glúten a partir de subprodutos da indústria alimentar, a partir de farinha de trinca de arroz carolino e farinha de milho enriquecida nutricionalmente com farelo estabilizado de arroz carolino.

Numa primeira fase realizou-se um estudo de mercado com o intuito de recolher informações relativas às massas isentas de glúten que se encontram disponíveis no mercado português, cujas características foram utilizadas como termo de comparação para os produtos a desenvolver. Os resultados obtidos encontram-se descritos no capítulo 4.1.

Sendo a pré-gelatinização do amido uma etapa chave para o sucesso da produção de massas sem glúten, procedeu-se ao estudo deste processo.

Avaliaram-se as propriedades reológicas dos géis obtidos a partir da gelificação do amido presente na farinha de arroz carolino, através de um teste oscilatório de varrimento de temperatura entre 20°C e 80°C, a várias concentrações de géis (40%(m/m), 50%(m/m) e 60%(m/m) de farinha de trinca de arroz carolino) e durante 1800s, 3600s e 7200s. Os restantes parâmetros foram fixados (Capítulo 4.2).

Seguidamente realizou-se a caracterização da textura, através de uma análise ao perfil de textura (TPA) dos géis cujas características apresentassem um maior interesse para o desenvolvimento das massas a diferentes tempos de gelatinização (20 min, 30 min e 40 min). Neste contexto foi registada a firmeza e a adesividade dos géis (Capítulo 4.3).

No capítulo 4.4 foram descritos os resultados obtidos quanto à proporção de gel a incorporar nas massas. Avaliaram-se três concentrações diferentes de gel (22%(m/m), 43%(m/m) e 65%(m/m)) tendo-se medido as características de textura através de um teste TPA. Os valores correspondentes de firmeza e adesividade foram posteriormente comparados com a massa de trigo controlo.

Desenvolveu-se novas formulações de massa com o gel de farinha de arroz optimizado, numa proporção fixa, enquanto a quantidade de farinha de arroz carolino de farinha de milho e de farelo de arroz carolino estabilizado foram alternados em diferentes proporções até obter um produto cujas características se assemelhassem a uma massa controlo de trigo fresca, desenvolvida para comparação. Estas formulações foram sujeitas a uma avaliação de textura (TPA) tendo-se medidos os parâmetros de firmeza e adesividade (Capítulo 4.5).

As formulações escolhidas foram laminadas, cozidas e analisadas relativamente à textura (firmeza e extensibilidade), aos parâmetros tecnológicos de cozedura (tempo óptimo de cozedura, perda de sólidos solúveis, absorção de água, índice de inchamento) e à estabilidade da cor. Foi também analisada a actividade da água (a_w) e a humidade das massas frescas isentas de glúten, após a laminação. Simultaneamente utilizaram-se as amostras comerciais como meio de comparação para a variação da cor, para os parâmetros de cozedura e para textura das massas (Capítulo 4.6).

No capítulo 4.7 representam-se os resultados obtidos através da análise sensorial a quatro formulações de massas isentas de glúten, seleccionadas com base na sua aptidão tecnológica.

Para concluir esta dissertação, encontram-se no capítulo 5 as conclusões gerais obtidas no final do trabalho e as respectivas sugestões para trabalhos futuros.

No anexo I encontra-se descrita a ficha de prova utilizada na avaliação sensorial das amostras seleccionadas.

Nos anexos II e III observam-se as publicações resultantes do presente trabalho.

Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto nº 38749 - QREN "Arroz +".

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Doença celíaca

A doença celíaca (DC), também designada enteropatia sensível ao glúten, é uma doença auto-imune que afecta indivíduos com predisposição genética quando sujeitos a uma dieta que contenha glúten (Zandonadi, 2006; Hamaker, 2007; Larrosa *et al*, 2013; Susanna *et al*, 2013). Nestes casos, a ingestão mesmo que em pequenas quantidades desencadeia uma reacção imunológica contra o próprio intestino delgado e provoca lesões na mucosa, que dificultam a absorção de nutrientes. A mucosa recupera o estado saudável quando o glúten é retirado da alimentação (Baptista, 2006; Hamaker, 2007; Nobre *et al*, 2007; Araújo *et al*, 2010; Mariotti *et al*, 2011; Moura, 2011; Fernandes *et al*, 2013).

2.1.1. Patogénese da doença celíaca

A DC é complexa, resulta da interacção entre factores ambientais, genéticos e imunológicos (Zandonadi, 2006; Moura, 2011).

Aos factores ambientais associa-se o glúten uma vez que este é o factor indutor da doença, devido à sua constituição em prolaminas (gliadinas, hordeínas, secalinas e aveninas) e gluteninas (Larrosa *et al*, 2013), estes péptidos são resistentes à digestão e vão alcançar a lâmina própria do intestino delgado, devido à sua permeabilidade (Baptista, 2006; Nobre *et al*, 2007).

Relativamente à predisposição genética sabe-se que a DC está relacionada com o complexo genético HLA, nomeadamente com os antígenos de histocompatibilidade HLA-DQ2 (presente em 90-95% dos indivíduos celíacos) e HLA-DQ8 (presente em 5% dos indivíduos celíacos) (Zandonadi, 2006; Nobre *et al*, 2007; Pité, 2007). Nestes casos, verifica-se uma resposta imunitária anormal quando são ingeridas a gliadina e a glutenina, uma vez que as moléculas DQ2 e DQ8 têm uma grande afinidade para os péptidos que as constituem após ocorrer a degradação enzimática pela transglutaminase tecidual (tTG) no intestino (Zandonadi, 2006). Quando estes complexos entram em contacto com as células TCD4, estas multiplicam-se e libertam citocinas que são responsáveis pelos danos na mucosa do intestino delgado (atrofia das vilosidades da mucosa do intestino delgado proximal) e activam anticorpos para a gliadina. Tal facto origina uma absorção deficiente de nutrientes, vitaminas, sais minerais e água por parte do doente celíaco (Nobre *et al*, 2007; Pité, 2007; Mariotti *et al*, 2011; Susanna *et al*, 2013).

A identificação destes factores pode apresentar uma explicação para a heterogeneidade que é verificada relativamente ao desenvolvimento da doença celíaca (Nobre *et al*, 2007; Pité, 2007).

2.1.2. Epidemiologia da doença celíaca

Nos últimos anos verificou-se um aumento da epidemiologia da DC (Zandonadi, 2006; Hamaker, 2007) esta é frequentemente descrita pelo modelo do “iceberg” celíaco, onde os casos sintomáticos (que apresentam sintomas característicos) representam a fracção visível do “iceberg”, enquanto a parte submersa corresponde aos casos assintomáticos (que não apresentam os sintomas

convencionais) (Arendt *et al*, 2008). A definição deste modelo só foi possível graças ao reconhecimento dos sintomas da doença aliada ao aparecimento de marcadores serológicos sensíveis e específicos e à identificação da susceptibilidade genética por parte dos indivíduos (Baptista, 2006; Zandonadi, 2006; Hamaker, 2007; Araújo *et al*, 2010).

Actualmente sabe-se que a doença celíaca está distribuída por várias regiões do globo, onde as populações além de possuírem a predisposição genética para a doença também consomem uma grande quantidade de alimentos com glúten (Nobre *et al*, 2007; Sapone *et al*, 2012). Por exemplo, na Europa a prevalência da DC varia entre 0,2% na Alemanha e Croácia e 1,2% na Hungria (Sapone *et al*, 2012).

Segundo a Associação Portuguesa de Celíacos (APC), pensa-se que em Portugal, 1 a 3% da população sofre desta doença, os casos diagnosticados rondam os 10.000, no entanto as estimativas apontam para a existência de 70.000 a 100.000 casos por diagnosticar.

A doença celíaca pode manifestar-se em qualquer altura da vida do indivíduo, contudo cerca de 20% dos casos ocorre em indivíduos com mais de 60 anos (Nobre *et al*, 2007).

Relativamente à distribuição por sexo, existe alguma controvérsia por parte de diversos autores, sendo que alguns defendem que esta é maior no sexo feminino com uma proporção de 2:1 (Araújo *et al*, 2010), enquanto outros afirmam que a doença distribui-se com uma frequência idêntica (Nobre *et al*, 2007).

2.1.3. Apresentação clínica da doença celíaca

A doença celíaca pode apresentar-se na forma típica ou clássica, na forma atípica ou não clássica, na forma assintomática ou silenciosa, na forma latente ou na forma refractária (Baptista, 2006; Zandonadi, 2006; Hamaker, 2007; Nobre *et al*, 2007; Pité, 2007; Araújo *et al*, 2010; Moura, 2011; Marti *et al*, 2013), a cada uma estão associados sintomas específicos como é possível observar no quadro 1.

Quadro 1 – Formas da doença celíaca e respectivos sintomas associados.

Forma típica ou clássica	Manifesta-se nos primeiros anos de vida e é caracterizada por uma má absorção intestinal e pela atrofia total das vilosidades induzida pelo glúten. Os sintomas são gastrointestinais.
Forma atípica ou não clássica	Não apresentam sintomas gastrointestinais ou estes ocupam um plano secundário, tais como dor abdominal, obstipação isolada em alternância com diarreia, astenia e mal-estar geral, vômitos, náuseas e anorexia, entre outras.
Forma assintomática ou silenciosa	Esta forma é caracterizada pela atrofia vilositária total, não apresentam sintomas gastrointestinais.
Forma latente	Apresenta-se em pacientes com diagnóstico prévio de doença celíaca, que respondem a uma dieta isenta de glúten mantendo uma histologia normal da mucosa ou manifestam apenas um aumento de linfócitos intra-epiteliais. Ocorre em indivíduos que podem desenvolver a doença celíaca mais tarde.
Forma Refractária	Estão incluídos os pacientes com doença celíaca real, ou seja, nesta caso já não há erro de diagnóstico e os indivíduos já não respondem a uma dieta isenta de glúten.

Fonte: Adaptado de Nobre *et al*, 2007 e Arendt *et al*, 2008

2.1.4. Diagnóstico da doença celíaca

Devido à dificuldade de diagnosticar a doença celíaca em certos indivíduos surge a necessidade de efectuar um diagnóstico mais específico além da observação do estado clínico, utilizam-se os testes serológicos ou uma avaliação endoscópica e histológica ao intestino, através de uma biópsia onde é possível verificar o estado de atrofia das vilosidades, o alongamento das criptas e o aumento dos linfócitos intra-epiteliais (figura 1). (Nobre *et al*, 2007; Arendt *et al*, 2008; Araújo *et al*, 2010).

Os marcadores serológicos mais comuns no diagnóstico da DC são a anti-transglutaminase (TTG), a anti-gliadina (AGA) e anti-endomísio (EMA) (Nobre *et al*, 2007; Pité, 2007).

Na verdade todos os métodos de diagnóstico da doença celíaca apresentam algumas limitações, por isso é essencial que sejam usados em simultâneo para definir o estado real do doente.

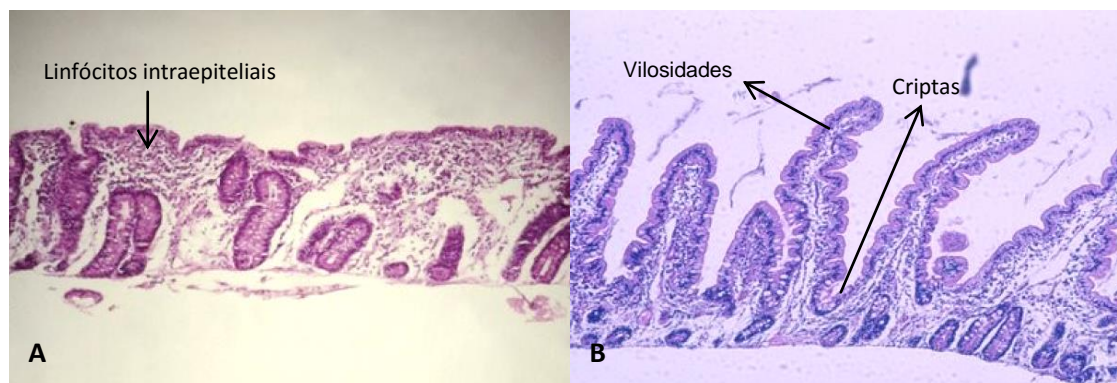


Figura 1 – Mucosa intestinal de dois indivíduos, mucosa de um doente celíaco (A) e mucosa de um indivíduo saudável (B).

Fonte: http://gastropedinutri.blogspot.pt/2009_10_01_archive.html

2.1.5. Tratamento da doença celíaca

O tratamento da doença celíaca consiste na instituição de uma dieta isenta de glúten (DIG) indefinidamente por parte dos doentes celíacos (Zandonadi, 2006; Mariotti *et al*, 2011; Moura, 2011; Larrosa *et al*, 2013). No entanto, a tarefa não é fácil, alguns alimentos apresentam quantidades vestigiais de glúten e muitas vezes a rotulagem não é específica. Estes factores aliados à distribuição irregular, ao custo elevado e à escassez de alimentos isentos de glúten dificultam a vida aos portadores de DC (Pité, 2007, Hager, 2013).

Em alguns casos pode ser necessário corrigir alguns défices nutricionais através da ingestão de suplementos de ferro, ácido fólico, cálcio, vitamina D, cobre, magnésio, zinco, albumina e vitamina B12 (Araújo *et al*, 2010).

Quando o glúten é eliminado da alimentação o intestino regenera por completo da lesão, mas se for introduzido os sintomas e a inflamação voltam a manifestar-se. Contudo se a doença celíaca é tratada atempadamente apresenta um bom prognóstico, de modo que a dieta sem glúten é crucial para a obtenção de bons resultados.

2.1.6. Outras doenças associadas ao glúten

O consumo do glúten está associado a outras doenças além da DC. Sapone *et al* (2012) e Rosell *et al* (2014) descreveram recentemente algumas das doenças mais comuns, como é o caso da dermatite hepertiforme, da alergia ao trigo (WA), da sensibilidade ao glúten não celíaca ou sensibilidade ao glúten (NCGS) e da ataxia ao glúten (GA), representadas na figura 2.

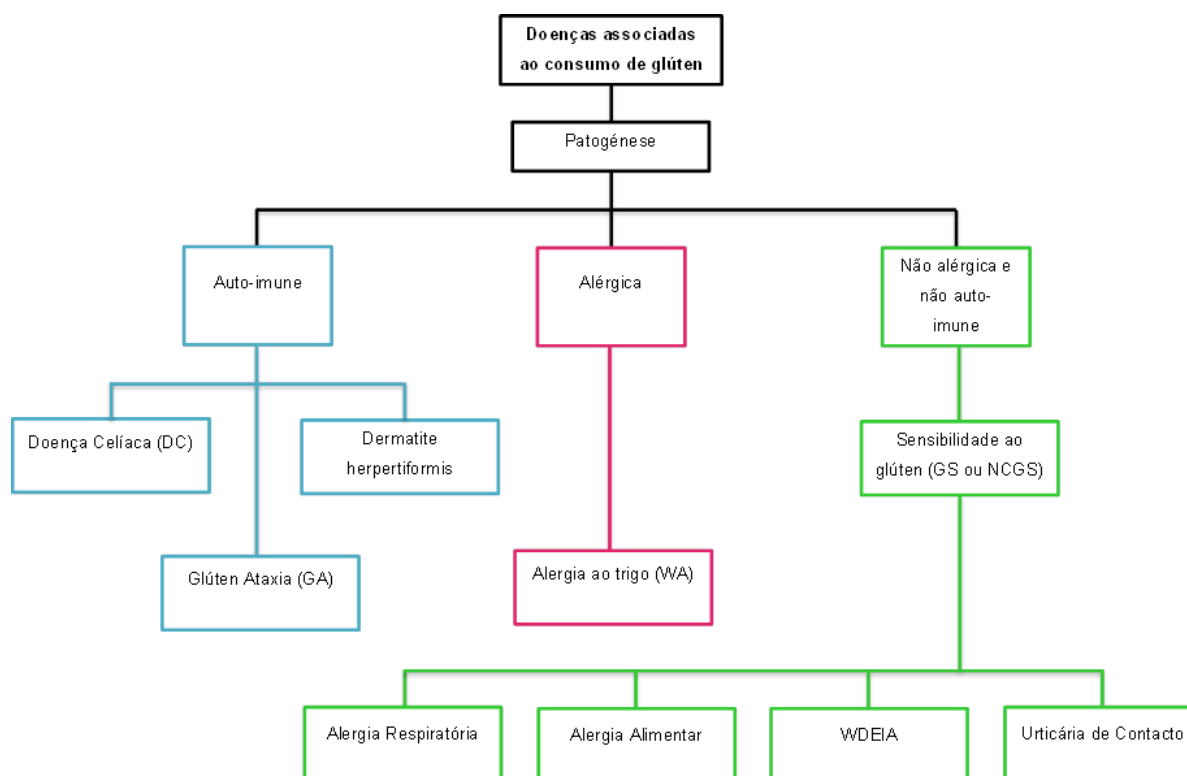


Figura 2 – Doenças associadas ao consumo de glúten e respectiva patogénese.

Fonte: Adaptado Sapone *et al*, 2012

Estas doenças associadas ao consumo de glúten são cada vez mais comuns e afectam uma parte considerável da população mundial. Como tal, surge a necessidade de criar produtos que possam ser integrados na alimentação de indivíduos afectados por qualquer uma destas efemeridades, uma vez que em grande parte dos casos o consumo de alimentos isentos de glúten é suficiente para melhorar o estado clínico dos doentes (Arendt *et al*, 2008; Larrosa *et al*, 2013; Padalino *et al*, 2013).

2.2. O glúten

O glúten resulta de uma mistura complexa de proteínas, prolaminas e gluteninas (Scholfield, 1996), que estão presentes no endosperma de alguns cereais sob diferentes formas e concentrações, como é o caso do trigo (gliadinas), do centeio (secalinas), da cevada (hordeínas) e da aveia (aveninas), entre outros (Scholfield, 1996; Cornell *et al*, 1998; Galera, 2006; Arendt *et al*, 2008; Susanna *et al*, 2013; Rosell *et al*, 2014). Este componente apresenta características únicas. É estável a altas temperaturas, apresenta um sabor agradável e confere uma boa textura nos alimentos em que é integrado. Tal facto torna-o essencial na indústria de transformação de cereais, como é o caso das massas alimentícias do pão e dos produtos de pastelaria (Scholfield, 1996; Cornell *et al*, 1998; Pité, 2007; Arendt *et al*, 2008).

No caso particular do trigo, o glúten é composto por duas fracções proteicas, a gliadina e a glutenina que totalizam cerca de 85% da sua fracção proteica, 10% de amido e 5% de lípidos (Cornell *et al*, 1998; Araújo *et al*, 2010; Susanna *et al*, 2013).

As gliadinas são formadas por uma cadeia simples com ligações dissulfeto intra moleculares e quando hidratadas apresentam uma textura viscosa, o que lhe confere pouca ou nenhuma resistência à extensão, sendo por isso as principais responsáveis pela coesividade da massa (Cornell *et al*, 1998; Zandonadi, 2006; Arendt *et al*, 2008; Susanna *et al*, 2013). Estas são responsáveis pela toxicidade para os portadores da doença celíaca (Scholfield, 1996; Zandonadi, 2006; Arendt *et al*, 2008; Pité, 2007).

Por sua vez, a glutenina é formada por uma cadeia complexa com ligações dissulfeto intra e intermoleculares, apresentando uma consistência elástica que contribui para a resistência à extensibilidade por parte da massa (Cornell *et al*, 1998; Zandonadi, 2006; Padalino *et al*, 2013; Susanna *et al*, 2013).

As proteínas que formam o glúten quando hidratadas e na presença de energia mecânica interagem entre si. Dá-se a quebra de ligações intramoleculares e ocorre uma nova reorientação das proteínas que contém grupos tiol. Estes reagem com agentes oxidantes e originam novas ligações dissulfeto intra e intermoleculares e pontes de hidrogénio que associadas a forças iónicas e hidrofóbicas (Cornell *et al*, 1998; Nabeshima, 2007; Hamaker, 2007) resultam na formação de várias cadeias de proteínas contíguas. Após amassar forma-se uma matriz tridimensional com propriedades viscoelásticas, insolúvel em água (Cornell *et al*, 1998; Pité, 2007; Mariotti *et al*, 2011), responsável pela fixação de grandes quantidades de água e amido e consequentemente pela elasticidade e textura dos produtos de panificação produzidos a partir de farinha de trigo (Cornell *et al*, 1998; Hamaker, 2007; Nabeshima, 2007; Fernandes *et al*, 2013; Padalino *et al*, 2013).

Não obstante, a toxicidade do glúten levou a que a *Comissão do Codex Alimentarius* estabelecesse normas quanto à quantidade máxima permitida nos alimentos que se designam de isentos de glúten. Neste contexto foi definido que o teor máximo de prolaminas permitido num produto GF é de 10 ppm (10 mg/kg) e de 100 ppm para os alimentos que contenham qualquer um dos cereais que englobem estas proteínas que foram retiradas, para cumprir as necessidades dietéticas dos doentes celíacos (Pité, 2007; Arendt *et al*, 2008; Susanna *et al*, 2013).

Segundo a APC, a agressividade do glúten depende da composição deste e como tal, não é igual para todos os cereais, por exemplo, alguns autores defendem que a aveia pode ser integrada na dieta de um doente celíaco, uma vez que a quantidade de prolaminas é muito inferior neste cereal.

2.3. Massas alimentícias

O consumo de massas alimentícias tem aumentado muito nas últimas décadas, tal facto é comprovada pelo abrupto aumento da produção mundial que passou de 7 para 12 milhões de toneladas (Carini *et al*, 2014).

Segundo dados do Instituto Nacional de Estatística (INE) e da APN, em Portugal, no ano de 2013, a produção de massas alimentícias rondou as 70000 toneladas das quais 17761 toneladas foram exportadas. Segundo estudos efectuados, estima-se que o consumo rondou os 6,6 kg de massa *per capita*.

As massas alimentícias são definidas como o produto não fermentado obtido a partir de sêmola de trigo duro e/ou derivados de cereais, leguminosas, raízes ou tubérculos e água potável, com ou sem adição de outras substâncias legalmente permitidas e que passam por um processo de mistura mecânica ou manual seguida de uma extrusão ou laminação onde a massa é moldada em esparguete, *fusilli*, *rissoni*, *anelli*, *rigatoni*, *fetuccine*, lasanha, canelones, entre outras (Nabeshima, 2007; Carini *et al*, 2009; Fernandes *et al*, 2013).

Após a extrusão ou laminação a massa sofre alguns processos diferentes consoante o produto final que é pretendido. Assim, na produção de massas alimentícias secas é realizada uma secagem até um teor de humidade constante de aproximadamente 12%. Estas são embaladas e armazenadas à temperatura ambiente. No caso das massas frescas é efectuada uma pasteurização, até um teor de humidade de 24% e um a_w entre 0,92 e 0,97. Quando estas condições são atingidas, são embaladas e armazenadas à temperatura controlada de $4\pm 2^\circ\text{C}$ (Carini *et al*, 2009; Fernandes *et al*, 2013).

As massas alimentícias são amplamente apreciadas pelas suas características físicas e químicas às quais se pode associar a textura “*al dente*”, a forma regular e bem definida, a inexistência de rugosidades, a cor ambarina e uniforme sem a presença de pontos brancos ou pretos, o aroma característico e o sabor agradável (Hager, 2013). Para obter um produto de elevada qualidade é necessário utilizar uma farinha que apresente uma boa viscoelasticidade durante o processamento (Marti *et al*, 2013), uma vez que a qualidade das massas continua a ser avaliada após a cozedura, através da perda de sólidos solúveis, do índice de inchamento e da absorção de água.

Relativamente à composição nutricional, esta é variável consoante os ingredientes que lhe são adicionados durante a confeção. No entanto, sabe-se que o amido é um dos constituintes

maioritários deste tipo de produtos. A quantidade de proteínas é normalmente baixa, ronda os 3%, mas nesta categoria destaca-se a presença do glúten, que é fundamental para determinar as características adequadas ao produto (Kill *et al*, 2001; Delcour *et al*, 2010).

Nas últimas décadas, desenvolveu-se um novo grupo de massas isentas de glúten, que integram a alimentação de muitos consumidores que apresentam intolerância ou alergia ao glúten (Marti *et al*, 2013).

Os ingredientes mais utilizados na produção de massas alimentícias isentas de glúten são a farinha e/ou amido de milho, arroz, sorgo, quinoa, trigo-sarraceno, batata (ou outros tubérculos), com recurso à adição de proteínas, gomas e emulsionantes que podem actuar como substitutos do glúten (Zandonadi, 2006; Hager *et al*, 2012). Esta diversidade de matérias-primas pode ajudar a aumentar a quantidade e a qualidade dos produtos para os consumidores celíacos (Nabeshima, 2007; Marti *et al*, 2011; Hager *et al*, 2012; Marti *et al*, 2013; Susanna *et al*, 2013).

2.4. Massas alimentícias de arroz

O mercado das massas de arroz encontra-se em ascensão, especialmente devido aos benefícios que apresenta para a saúde (Luh, 1991; Marshall *et al*, 1993; Arendt *et al*, 2008; Barbiroli *et al*, 2013). Estas são produzidas de diversas formas consoante as características pretendidas e as preferências das populações, o que torna imprescindível optar por diferentes condições de tratamento, consoante o objectivo a alcançar (Cham *et al*, 2010).

Em 1996, Toh patenteou o processo de produção de massa de arroz instantâneo que, de uma forma geral, consistia numa pré gelatinização da farinha de arroz através de vapor a altas temperaturas (Nabeshima, 2007). A farinha gelatinizada obtida era misturada com água quente e sofria seguidamente um processo de extrusão. A massa resultante passava por outro tratamento de vapor, seguido de imersão em água quente e secagem até um teor de humidade inferior a 15% (Ormenese *et al*, 2002; Mariotti *et al*, 2011).

Contudo, existem outros processos que podem ser utilizados na produção de massa de arroz, por exemplo, o processo convencional segundo Ormenese *et al* (2002) e Nabeshima (2007), consiste na demolha do arroz em água durante várias horas e pela cozedura da massa formada em vapor. A pasta resultante é amassada e sofre uma extrusão seguida de uma nova cozedura em água em ebulição ou através do vapor.

Marti *et al* (2010) demonstraram que através da utilização de farinha de arroz parcialmente cozido (vapor) e de um processo de extrusão a altas temperaturas (100°C) que promove a gelatinização do amido é possível produzir massa de arroz sem recorrer à utilização de aditivos.

Em ambos os processos referidos anteriormente é possível verificar que através da manipulação do amido com tratamentos térmicos (gelatinização) é possível desenvolver uma massa alimentícia fresca isenta de glúten a partir de farinha de arroz com uma qualidade aceitável sem recorrer a aditivos.

Outra técnica muito utilizada actualmente a nível industrial consiste na produção de massas alimentícias de arroz através da utilização de farinha pré-gelatinizada (Marshall *et al*, 1993; Ormenese *et al*, 2002; Arendt *et al*, 2008; Clerici *et al*, 2008; Mariotti *et al*, 2011; Schmieie *et al*, 2013), pois

permite o aproveitamento de alguns equipamentos utilizados no fabrico das massas tradicionais, como é o caso da prensa. Esta farinha que contém o amido praticamente todo gelatinizado (Marti *et al*, 2013a) favorece a polimerização com a fracção de amido que não foi tratada e promove a formação de uma estrutura semelhante ao glúten (Fernandes *et al*, 2013).

Existem actualmente, inúmeros tratamentos hidrotérmicos que podem ser aplicados a nível industrial para produzir amidos modificados que são integrados no processo de fabrico deste tipo de produtos, sem que seja necessário alterar o processamento, é o caso do HMT (*Heat Moisture Treatment*) e do *annealing* (Liu *et al*, 2009; Cham *et al*, 2010).

O *annealing* consiste no tratamento do amido em excesso de água (>60%*m/m*) a uma temperatura inferior à temperatura de gelatinização, entre os 50°C e os 70°C. Este processo é utilizado na produção de massas frescas, visto que lhes confere uma textura mais suave (Zavareze *et al*, 2010). Por sua vez, no HMT o amido é tratado com um teor de humidade mais baixo (<35%*m/m*) e as temperaturas aplicadas no processo são mais elevadas (90°C e 120°C) (Zavareze *et al*, 2010). Como tal, este processo é empregue no fabrico de massas secas ou semi secas, pois confere uma maior elasticidade e dureza ao produto. Estes processos são responsáveis pela alteração das propriedades físico-químicas nativas do amido, sem destruir a estrutura do grânulo (Jacobs *et al*, 1998; Takahashi *et al*, 2005; Liu *et al*, 2009; Cham *et al*, 2010; Marti *et al*, 2013).

Segundo Cham *et al* (2010) estes tratamentos são conhecidos por aumentarem a cristalização do amido, a rigidez do grânulo, o realinhamento dos polímeros, a fusão parcial dos cristais e por promover as associações entre as cadeias de amido amilose-amilopectina e/ou amilopectina-amilopectina. Estes tratamentos também podem suprimir o inchaço dos grânulos do amido, retardar a gelatinização e aumentar a estabilidade da massa (Liu *et al*, 2009; Zavareze *et al*, 2010), o que se reflecte na qualidade das massas antes e após a cozedura (Lai, 2002).

A vaporização da farinha de arroz é outra opção viável na produção de massas alimentícias de arroz, uma vez que este processo hidrotérmico promove alterações moleculares na estrutura do amido devido á gelatinização total ou parcial deste. Estas características permitem que durante o processamento da massa haja a formação de uma estrutura coesa com capacidade de formar um produto de boa qualidade (Bhattacharya, 2004; Mariotti *et al*, 2011).

Independentemente do processo utilizado, a variedade de arroz que é empregue na produção deste tipo de produto também desempenha um papel fulcral, devido ao impacto que o teor de amilose tem sobre a qualidade das massas. Para tal, são preferíveis as variedades asiáticas onde o teor de amilose é abundante (Luh, 1991; Ormenese *et al*, 2002).

As propriedades nutricionais e de textura das massas isentas de glúten estão relacionadas com a organização molecular do amido antes e após o processamento (Barbiroli *et al*, 2013). Normalmente estas apresentam uma consistência pegajosa e uma elevada perda de sólidos solúveis durante a cozedura (Marti *et al*, 2011, Cabrera-Chávez *et al*, 2012 Marti *et al*, 2013).

Segundo Cabrera-Chávez *et al* (2012) os alimentos sem glúten cujas formulações sejam à base de arroz e milho têm um baixo teor de proteínas, são pobres em fibras, cálcio e ferro e normalmente apresentam um teor de gordura e calorias bastante alto, para compensar a baixa aceitabilidade sensorial.

2.4.1. Arroz

O arroz (*Oryza sativa*, L.) está integrado na alimentação de mais de metade da população mundial (Marshall *et al*, 1993; Ormenese *et al*, 2002; MaClean *et al*, 2002; Galera, 2006; Carena, 2009; Wani *et al*, 2012; Schmiele *et al*, 2013), é o cereal mais consumido no mundo e como tal considerado um alimento básico para a população (Augusto-Ruiz *et al*, 2003; Naves, 2007; Walter *et al*, 2008; Carena, 2009; Moura, 2012; Weber, 2012; Hasjim *et al*, 2013). Em Portugal, assume uma importância crucial na alimentação, uma vez que o consumo *per capita* ronda os 16,3 kg, segundo dados do INE, sendo a média Europeia de 5-6 kg. Actualmente a produção ronda as 180155 toneladas e a variedade japónica da qual faz parte o arroz carolino é a mais produzida, seguida do índica (agulha) e do fragrante cuja produção é muito baixa.

O arroz carolino, produzido exclusivamente em Portugal, caracteriza-se por ter um grão arredondado e de cor branca, com um comprimento superior a 6 mm e uma relação comprimento largura entre 2 e 3 mm. O amido desta variedade tem um alto teor de amilopectina, comparativamente a outras e como tal absorve mais água e sofre retrogradação com mais facilidade (MaClean *et al*, 2002; Carena, 2009; Weber, 2012; Torres *et al*, 2013; Silva, 2014).

Para estar apto para consumo o arroz é processado de acordo com o esquema representado na figura 3. Entre as etapas principais destaca-se o descasque do arroz *paddy* e o branqueamento onde o farelo é removido. Outro subproduto importante da indústria do arroz são as trincas que consistem em grãos de arroz partidos durante o branqueamento (Marshall *et al*, 1993; Ormenese *et al*, 2002; Augusto-Ruiz *et al*, 2003; Carena, 2009; Moura, 2011).

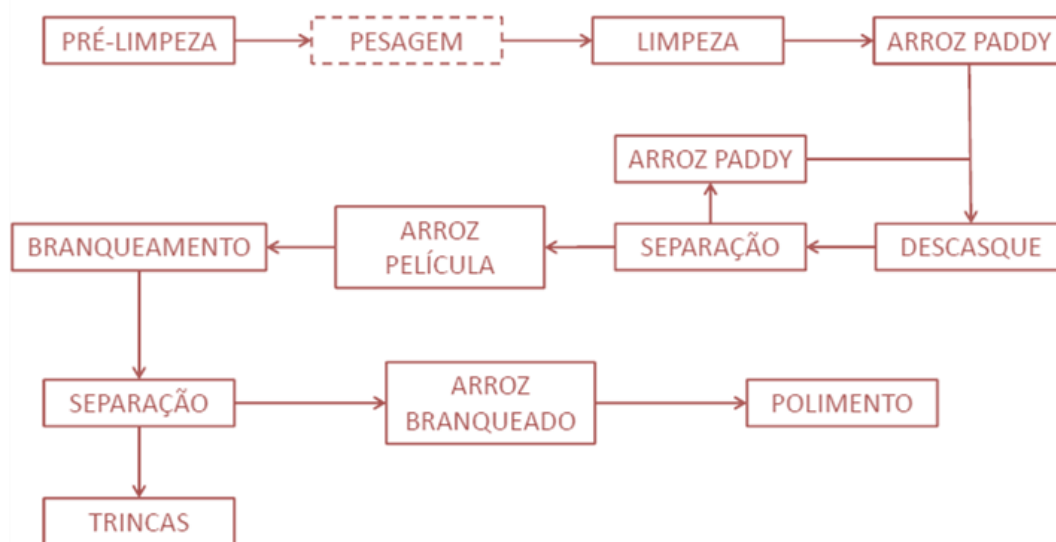


Figura 3 – Processamento do arroz branqueado.

Fonte: Adaptado Nabeshima, 2007

Actualmente são consumidos três tipos de arroz processado, o arroz branqueado é o mais consumido mundialmente, seguido pelo vaporizado e pelo integral (arroz película) (Luh, 1991; Marshall *et al*, 1993; Moura, 2011; Silva, 2014).

Relativamente à estrutura do grão de arroz (figura 4) este é formado pela cariopse e pela casca, esta é composta por duas folhas, a pálea e a lema, que correspondem a cerca de 20% do peso do grão (Luh, 1991; Walter *et al*, 2008; Silva, 2014). Por sua vez, a cariopse é formada por diferentes camadas, as mais externas são o pericarpo, o tegumento e a camada de aleurona, que representam cerca de 5-8% do grão (Walter *et al*, 2008).

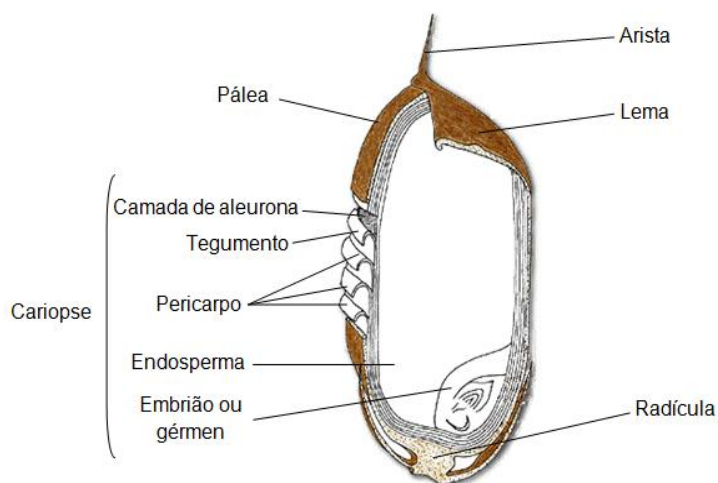


Figura 4 - Corte longitudinal e transversal de um grão de arroz.

Fonte: <http://blog.fooducate.com/2010/11/03/how-to-buy-bread-whole-grains-miniseries-part-2/>

O embrião ou gérmen está localizado na zona ventral na base do grão como mostra a figura 4, é rico em proteínas e lípidos e constitui cerca de 2-3% do grão de arroz (Luh, 1991; Marshall *et al*, 1993; Galera, 2006; Walter *et al*, 2008). O endosperma representa a maior parte do grão, entre 89-94% (Walter *et al*, 2008).

A composição nutricional do arroz varia consoante as condições de cultivo, temperatura, humidade, radiação solar, natureza do solo, adubação e com o processamento do arroz (arroz branqueado, vaporizado ou integral) (MaClean *et al*, 2002; Naves, 2007; Walter *et al*, 2008).

O arroz constitui uma fonte importante de calorias e proteínas (Weber, 2012; Torres *et al*, 2013), é responsável por cerca de 20% das calorias ingeridas pela população mundial, e por 15% das proteínas (Fitzgerald *et al*, 2009).

O amido é o componente principal do arroz, encontra-se no endosperma do grão e representa mais de 80% da sua constituição. Este componente é extremamente importante na indústria alimentar devido a características singulares, tais como o sabor suave a textura cremosa, o facto de ser hipoalergénico e apresentar uma boa digestibilidade (Chen *et al*, 2007; Naves 2007; Wani *et al*, 2012).

As principais proteínas do arroz são a albumina, a globulina (15%), a prolamina (5-8%) e a glutelina (80%) (Naves, 2007; Walter *et al*, 2008; Marti *et al*, 2013a). Este é rico nos aminoácidos tiamina (B1), riboflavina (B2) e niacina (Naves, 2007; Moura, 2011; Weber, 2012), no entanto apresenta um défice de lisina (aminoácido essencial) mas contém ácido glutâmico e aspártico (Borges *et al*, 2003, Schmiele *et al*, 2013; Rosell *et al*, 2014). Contudo, o arroz apresenta um teor de

proteínas baixo (7,5%), quando comparado a outros cereais (Augusto-Ruiz *et al*, 2003; Naves 2007; Schmiele *et al*, 2013).

O arroz polido é rico em ácido oleico (18:1), linoleico (18:2) e palmítico (16:0), ainda que o teor de lípidos seja inferior a 1% (Naves, 2007; Walter *et al*, 2008; Moura, 2011; Weber, 2012).

Segundo Naves (2007), o teor de fibra alimentar é variável sendo constituída essencialmente por hemicelulose e pectina.

Os minerais mais comuns no arroz são o fósforo o potássio e o magnésio (Walter *et al*, 2008; Weber, 2012), o zinco e o ferro também estão presentes mas em quantidades residuais quando comparados com os restantes (Naves, 2007; Weber, 2012).

2.4.2. Farinha de arroz

A farinha é um material fino, obtido através da moagem via seca ou via húmida dos organelos das plantas que contêm amido (cereais, sementes, frutas, raízes) seguido de uma peneiração. No caso do arroz, a farinha é produzida a partir da moagem da trinca de arroz (Luh, 1991; Marshall *et al*, 1993; Ormenese *et al*, 2002; Augusto-Ruiz *et al*, 2003; Galera, 2006).

Sabe-se que a farinha apresenta praticamente todos os constituintes nutricionais contidos na matéria-prima que lhe deu origem, à exceção do teor de humidade (Clerici *et al*, 2008; Hasjim *et al*, 2013; Puncta-arnon *et al*, 2013).

Estudos realizados por Severo *et al* (2010), Marti *et al* (2013) e Puncta-arnon *et al* (2013) revelaram que o teor de proteínas ronda os 5,2% – 9%, dependendo da cultivar de arroz que originou a farinha.

A farinha de arroz é rica em glúcidos, nomeadamente em amido que integra cerca de 90% desta fracção de macro nutrientes (Hasjim *et al*, 2013), é composto por cadeias de amilose e amilopectina (Clerici *et al*, 2008; Severo *et al*, 2010, Marti *et al*, 2011).

Apresenta inúmeras aplicações, podendo ser empregue no fabrico de alimentos infantis, instantâneos e matinais, incorporada em produtos cárneos e congelados e utilizada no fabrico de alimentos isentos de glúten. (Luh, 1991; Augusto-Ruiz *et al*, 2003; Galera, 2006; Nabeshima, 2007; Clerici *et al*, 2008; Moura, 2012; Marti *et al*, 2013a; Rosell *et al*, 2014), devido ao seu sabor suave, cor branca, alta digestibilidade e propriedades hipoalergénicas.

No entanto, quando a farinha de arroz é utilizada como o único ingrediente para a produção de massas, torna-se necessário recorrer a novas técnicas de processamento com vista a alterar as propriedades das componentes macro moleculares, relevantes para a estrutura do produto final, uma vez que a ausência do glúten apresenta um obstáculo (Mariotti *et al*, 2011; Marti *et al*, 2011; Cabrera-Chávez *et al*, 2012; Barbiroli *et al*, 2013; Fernandes *et al*, 2013).

Neste sentido, visto que a viscoelasticidade da rede de glúten está ausente, é essencial recorrer à gelatinização do amido presente na farinha de arroz, com o intuito de obter uma estrutura semelhante à conferida pelo glúten nas farinhas de trigo.

2.4.3. Gelatinização do amido

I. Amido de arroz

O amido é o componente maioritário da farinha de arroz. Este é constituído por dois polissacarídeos, a amilose e a amilopectina, polímeros de glicose que por síntese e desidratação originam um grânulo de amido (Vandeputte *et al*, 2003; Friberg *et al*, 2005; Delcour *et al*, 2010; Holder, 2012; Cano *et al*, 2014; Tako *et al*, 2014).

A amilose é uma molécula linear (figura 5), que exerce uma grande influência sobre as propriedades físico-químicas do arroz (Friberg *et al*, 2005; Fitzgerald *et al*, 2009; Delcour *et al*, 2010; Sulaiman *et al*, 2013; Cano *et al*, 2014), é constituída por resíduos de α -D-glucopiranoose ligados entre si através de ligações glucosídicas $\alpha(1 \rightarrow 4)$. Em alguns casos pode conter ligações $\alpha(1 \rightarrow 6)$ (entre 0,1% e 0,5%) (Vandeputte *et al*, 2003; Chen *et al*, 2007; Delcour *et al*, 2010; Holder, 2012; Wani *et al*, 2012; Cano *et al*, 2014; Tako *et al*, 2014).

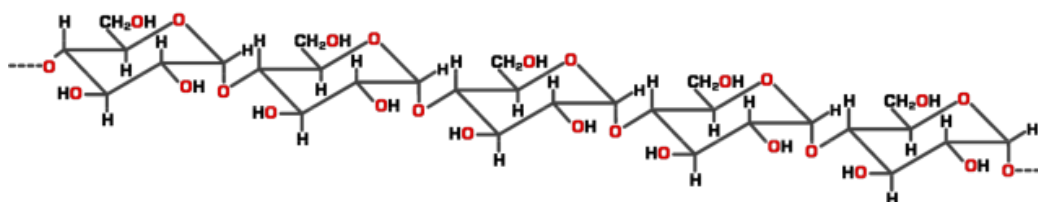


Figura 5 – Estrutura molecular da amilose.

Fonte: Adaptado Coultate, 2002

No caso do arroz, o teor de amilose varia entre 0 e 30% (m/m) (Chen *et al*, 2007), como tal, consoante a quantidade deste componente é possível classificar o arroz quanto ao teor de amilose, como ceroso (1-2%), muito baixo (2-12%), baixo (12-20%), intermédio (20-25%) e alto (25-33%) (Walter *et al*, 2008; Moura, 2011; Weber, 2012). Segundo estudos efectuados, a quantidade ideal de amilose presente na farinha de arroz para a produção de massa deverá ser superior a 22% (Ormenese *et al*, 2002).

Em relação à amilopectina (figura 6), esta é formada por ligações glucosídicas $\alpha(1 \rightarrow 4)$, ligadas a cadeias de α -D-glucopiranoose (95%), com ligações $\alpha(1 \rightarrow 6)$ presentes em cerca de 5-6% da estrutura, uma vez que as ramificações ocorrem em média a cada 25 resíduos (Friberg *et al*, 2005; Delcour *et al*, 2010). A amilopectina é a principal responsável pela formação de uma cadeia altamente ramificada que confere o esqueleto ao grânulo de amido (Vandeputte *et al*, 2003; Chen *et al*, 2007; Holder *et al*, 2012; Wani *et al*, 2012; Hasjim *et al*, 2013; Cano *et al*, 2014; Tako *et al*, 2014).

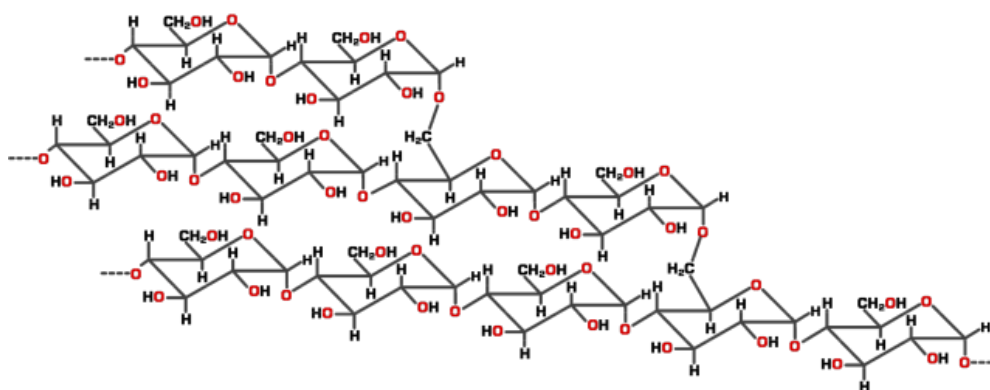


Figura 6 – Estrutura molecular da amilopectina.

Fonte: Adaptado Coultate, 2002

No estado nativo o amido de arroz apresenta-se como grânulo de tamanho e forma variável, uma vez que a morfologia depende do germoplasma que lhe deu origem e de factores externos como o meio ambiente e as condições agronómicas (Zaraveze *et al*, 2010; Marti *et al*, 2011; Holder, 2012; Wani *et al*, 2012). Não obstante, as suas propriedades também dependem da morfologia dos grânulos, do peso molecular, da distribuição, da taxa amilose/amilopectina e da composição química (Vandeputte *et al*, 2003b; Severo *et al*, 2010; Wani *et al*, 2012).

No caso específico do arroz, sabe-se que a morfologia é variável consoante a cultivar e pode apresentar todas as formas, contudo a poliédrica é a mais comum. Relativamente às dimensões, os grânulos de amido apresentam um tamanho muito reduzido que varia entre 2 e 7 μm (Vandeputte *et al*, 2003b), tal facto contribui para o aumento do interesse deste produto a nível industrial, uma vez que apresenta uma textura semelhante à da gordura mas com um baixo índice glicémico (Zavareze *et al*, 2010; Wani *et al*, 2012).

Estruturalmente, o grânulo de amido é composto por vários anéis intercalados, cuja quantidade depende da cultivar de arroz de onde provém (Vandeputte *et al*, 2003; Wani *et al*, 2012; Hasjim *et al*, 2013). A natureza dos anéis presentes na estrutura do grânulo de amido varia entre semi cristalina e amorfa (figura 7), com aproximadamente a mesma dimensão (120 a 400 nm). As zonas semi cristalinas do amido são compostas por hélices duplas formadas pelos ramos de amilopectina (Vandeputte *et al*, 2003).

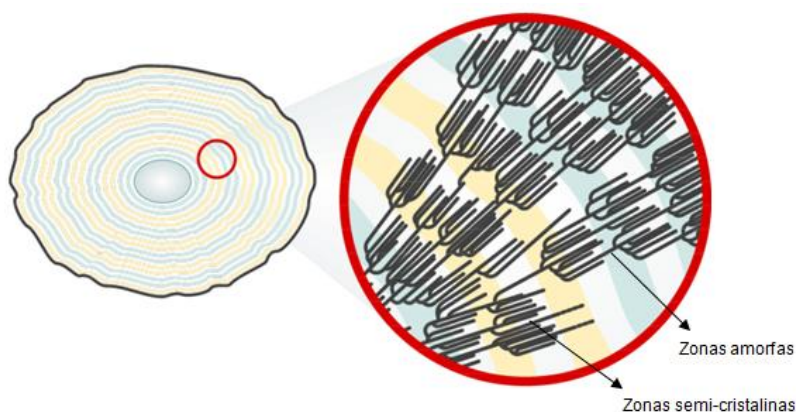


Figura 7 – Estrutura interna dos grânulos de amido.

Fonte: Adaptado de Guerreiro e Mata, 2010

O conhecimento do peso molecular dos grânulos de amido é outro factor importante na produção de alimentos, podendo ser determinado através do método SEC (*size exclusion chromatography*) (Fitzgerald *et al*, 2009; Wani *et al*, 2012).

A complexidade resultante da biossíntese do amido está intimamente relacionada com a variabilidade nas moléculas de amilose e amilopectina resultante das diferentes morfologias dos grânulos. Estas variações de tamanho e forma estão associadas a várias propriedades funcionais que podem assumir diversas possibilidades na indústria alimentar, sob o ponto de vista de vários processos industriais e da qualidade nutricional dos alimentos (Wani *et al*, 2012).

Nutricionalmente, o amido de arroz apresenta um teor de lípidos variável, por exemplo, quando o teor de amilose está compreendido entre 12,2% a 28,6%, a quantidade de lípidos pode variar entre 0,9% a 1,3%, por sua vez se o teor de amilose for mais baixo, 1,0% a 2,3%, a quantidade de lípidos presente é residual (Severo *et al*, 2010; Hasjim *et al*, 2013). As proteínas são maioritariamente de reserva, enzimas biossintéticas ou degradativas que se encontram aprisionadas no interior dos grânulos de amido (Wani *et al*, 2012).

O fósforo também é um componente importante que desempenha um papel fundamental nas propriedades funcionais do amido, visto que confere estabilidade, viscosidade e consistência quando este é gelatinizado (Wani *et al*, 2012).

Relativamente às propriedades do amido, destacam-se a capacidade de adesão, ligante, desenvolvimento de filmes, fortalecimento de espumas, gelificação, vitrificação, retenção de humidade, estabilizante, texturante e espessante (Xie *et al*, 2009; Wani *et al*, 2012; Cano *et al*, 2014). Tais características permitem que seja empregue em várias indústrias, na produção de cosméticos, de papel, de alimentos, de produtos químicos e farmacêuticos, entre outros (Tan *et al*, 2009; Zavareze *et al*, 2010; Wani *et al*, 2012). O amido também apresenta inúmeros benefícios para a saúde, auxilia na prevenção e no controlo de doenças crónicas, como a diabetes e doenças cardiovasculares (Weber, 2012).

II. Gelatinização do amido

A gelatinização do amido é uma etapa extremamente importante na indústria alimentar, uma vez que confere características texturais e estruturais únicas nos produtos onde é integrado. Para tal é fundamental recorrer à optimização deste processo consoante o produto a desenvolver e as características pretendidas (Spigno *et al*, 2004; Yamamoto *et al*, 2006; Zavareze *et al*, 2010; Mariotti *et al*, 2011).

Quando o amido é submetido à hidratação à temperatura ambiente não ocorrem mudanças irreversíveis na sua estrutura interna, mas dá-se um aumento de cerca de 30% no seu peso seco, acompanhado por um acréscimo de 5% relativamente ao volume. Contudo, quando nas condições referidas é verificado um aumento de temperatura as macromoléculas que constituem o amido têm tendência a associar-se (Marti *et al*, 2013). Se o ponto crítico for atingido (temperatura de gelatinização), ocorrem mudanças estruturais irreversíveis, os grânulos de amido aumentam de volume (inchamento), a estrutura das zonas semi cristalinas colapsa, dá-se a fusão dos cristais, há perda de birrefringência e dá-se a solubilização do amido o que contribui para o aumento da

viscosidade (Teba *et al*, 2009; Zavareze *et al*, 2010; Moura, 2011; Holder, 2012; Wani *et al*, 2012; Hasjim *et al*, 2013; Vandeputte *et al*, 2003). Este é um processo endotérmico e ocorre em duas fases, inicialmente dá-se o inchamento dos grânulos de amido como foi referido anteriormente, devido à quebra das ligações de hidrogénio nas zonas amorfas.

Seguidamente a água actua como um plastificante que conduz à hidratação e inchamento das regiões amorfas (Wani *et al*, 2012). Para ocorrer a gelatinização é necessária a completa dissolução da estrutura granular do amido para dar origem a uma matriz polimérica e amorfa denominada gel (Spigno *et al*, 2004; Wani *et al*, 2012).

Numa última etapa, os polímeros de amido, nomeadamente a amilose, sofre lixiviação, dá-se um aumento na viscosidade e forma-se uma rede tridimensional (Vandeputte *et al*, 2003 a; Spigno *et al*, 2004; Teba *et al*, 2009; Wani *et al*, 2012), constituída por cadeias de amilose/amilopectina que através de pontes de hidrogénio ligam-se às moléculas de água originando um sistema viscoelástico (Tako *et al*, 2014).

Para controlar o grau de gelatinização do amido e observar o comportamento reológico dos géis durante este processo é frequente a utilização do método analítico (DSC – *Differential scanning calorimetry*). No entanto outros métodos também são comuns, é o caso da difracção de raios X, ressonância magnética nuclear, do *rapid visco-analyser* (RVA), do *brabender visco amylograph*, dos reómetros rotacionais ou outros viscosímetros, que registam a viscosidade continuamente em função da temperatura (Spigno *et al*, 2004; Yamamoto *et al*, 2006; Fitzgerald *et al*, 2009; Liu *et al*, 2009; Wani *et al*, 2012).

A gelatinização está dependente de vários factores, tais como a temperatura, o pH, a humidade, a composição do amido (relação amilose/amilopectina, fósforo, lípidos, proteínas e enzimas) (Torres *et al*, 2013; Cano *et al*, 2014; Tako *et al*, 2014), a estrutura molecular da amilopectina (comprimento da cadeia, peso molecular, extensão da ramificação), a arquitectura do grânulo (zona cristalina e zona amorfa), a morfologia dos grânulos e a distribuição dos anéis (semi cristalinos e amorfos) e o respectivo tamanho (Vandeputte *et al*, 2003a; Spigno *et al*, 2004; Yamamoto *et al*, 2006; Chen *et al*, 2007; Tan *et al*, 2009; Wani *et al*, 2012).

Por sua vez, os constituintes do amido também têm uma grande influência neste processo, enquanto a amilopectina é responsável pelo aumento de volume dos grânulos, a amilose actua como agente limitante, uma vez que restringe este comportamento (Wani *et al*, 2012).

No caso do arroz, sabe-se que quando o amido apresenta um teor de amilose alto é necessária uma temperatura de gelatinização inferior, e que o gel resultante é indicado para a produção de massas alimentícias de arroz (Cham *et al*, 2010).

Os géis produzidos a partir de amido são, no entanto, termodinamicamente instáveis e passam por mudanças que afectam a sua capacidade tecnológica (Wani *et al*, 2012).

Após o arrefecimento, as moléculas de amido associam-se num processo de cristalização complexo conhecido como retrogradação (Vandeputte *et al*, 2003a; Holder, 2012).

III. Retrogradação do amido

A retrogradação consiste num processo de cristalização (Vandeputte *et al*, 2003b), onde ocorre a diminuição da solubilidade dos géis, resultante da forte tendência para a formação de ligações de hidrogénio entre os grupos hidroxilo nas moléculas de amido adjacentes (Wani *et al*, 2012; Tako *et al*, 2014). Neste caso, dá-se a formação de hélices duplas entre as cadeias de amilopectina e amilose. Quando as cadeias de amilopectina são curtas, não formam hélices duplas, normalmente cristalizam com a amilose ou com outras cadeias longas de amilopectina e portanto inibem a retrogradação, ou diminuem a perfeição da cristalização. Contrariamente, as cadeias de amilopectina mais longas formam mais hélices duplas e favorecem a retrogradação (Vandeputte *et al*, 2003 b).

Este processo está dependente de uma série de factores, como é o caso do teor de amilose (livre ou complexada com lípidos, distribuição e peso molecular) (Wani *et al*, 2012), uma vez que esta influencia a elasticidade e a dureza das dispersões de amido após a retrogradação e origina um material muito resistente à hidrólise enzimática. Outro factor determinante na retrogradação é a amilopectina cuja distribuição e o comprimento da cadeia, têm influência sobre o envelhecimento do gel. Quando as cadeias são longas o envelhecimento ocorre lentamente, requer várias semanas ou meses de armazenamento para atingir o equilíbrio do gel (Wani *et al*, 2012; Tako *et al*, 2014).

No entanto, as propriedades da amilopectina neste processo são influenciadas pelo conteúdo de amilose, visto que exerce efeitos sinérgicos sobre a retrogradação da amilopectina, por exemplo quando o teor desta é baixo a amilose age como um núcleo e cristaliza com a amilopectina até um certo ponto (Vandeputte *et al*, 2003 b; Tako *et al*, 2014).

A temperatura de gelatinização é outro dos factores decisivos, segundo Vandeputte *et al* (2003 b), quanto mais alta a temperatura de gelatinização mais elevada a extensão da retrogradação.

Outro factor importante é o armazenamento e as condições a que este ocorre, sabe-se que a uma temperatura de 6°C os cristais formados tornam-se menos estáveis do que se o armazenamento ocorrer à temperatura ambiente, visto que a propagação dos cristais presentes no gel é favorecida por este e como tal formam-se estruturas mais estáveis (Vandeputte *et al*, 2003 b; Wani *et al*, 2012; Tako *et al*, 2014).

Todos os factores referidos têm influência na elasticidade e na firmeza do gel, e consequentemente no produto onde este é inserido (Wani *et al*, 2012), por exemplo no caso das massas alimentícias, este processo é responsável pela firmeza da massa após a cozedura e pela redução da viscosidade e da perda de sólidos solúveis (Marti *et al*, 2010; Mariotti *et al*, 2011; Marti *et al*, 2011; Marti *et al*, 2013).

A retrogradação encontra-se muitas vezes associada à separação da água a partir do gel (sinérese), uma vez que devido ao armazenamento prolongado as cadeias de amido têm tendência a interagir entre si o que leva à desidratação do gel, contribuindo para a deterioração visual e textural do mesmo (Holder, 2012; Wani *et al*, 2012). A qualidade dos géis de arroz é estritamente dependente da variedade dos grãos, do teor de amilose e do período de envelhecimento a que o gel é sujeito.

A retrogradação afecta a qualidade, a aceitabilidade, as propriedades nutricionais e os prazos de validade dos alimentos à base de amido, como é o caso das massas para celíacos, o que torna

este fenómeno extremamente interessante sob o ponto de vista tecnológico e científico (Marti *et al*, 2011; Holder, 2012; Larrosa *et al*, 2013).

Vários estudos foram realizados com incorporação de amido pré-gelatinizado na produção de massas alimentícias isentas de glúten, entre os quais destacam-se Ormenese *et al* (2002), Cham *et al* (2010), Lucisano *et al* (2012), Fiorda *et al* (2013), Marti *et al* (2013) entre outros.

2.4.4. Farelo de arroz

O farelo é um subproduto do arroz (*Oryza sativa* L.), obtido na indústria da transformação a partir do branqueamento e representa cerca de 10% do peso total do grão (Marshall *et al*, 1993; Faria *et al*, 2012; Cano *et al*, 2014). Este é composto pelas camadas exteriores dos grãos de cereais, pericarpo, tegumento, camada de aleurona e gérmen (Walter *et al*, 2008) que são resistentes à digestão e absorção no intestino delgado humano e sofrem uma completa ou parcial fermentação no intestino grosso (Aravind *et al*, 2012).

Cerca de um milhão de toneladas de farelo são produzidas anualmente com destino à alimentação animal (Faria *et al*, 2012), no entanto têm sido realizados alguns estudos onde se visa o aproveitamento para incorporação em alguns alimentos devido à sua composição nutricional (Faria *et al*, 2012).

A elevada actividade enzimática que é desencadeada após o descasque do arroz aliada ao elevado teor de lípidos que contém, fazem do farelo um alimento instável devido à actividade das lipases que promovem a rancificação (Marshall *et al*, 1993; Faria *et al*, 2012). Como tal é essencial recorrer à estabilização destes compostos logo após o descasque. Este processo pode ser conseguido através do aquecimento a altas temperaturas durante um curto período de tempo, desta forma o período de vida útil do farelo é aumentado (Marshall *et al*, 1993; Faria *et al*, 2012).

Normalmente a estabilização do farelo é feita através de dois processos, torrefacção no forno, ou tratamento com microondas. Segundo Faria *et al* (2012), em ambos os casos a composição nutricional é mantida praticamente intacta à excepção de alguns constituintes, no entanto, o processo de torrefacção no forno diminui a humidade do farelo de forma mais eficiente, mas em contra partida é um processo mais severo no que toca à conservação dos ácidos gordos. Por sua vez, o tratamento por microondas provoca menos alterações nos componentes do óleo do farelo, considerados benéficos para a saúde.

Quanto à composição nutricional do farelo, esta depende da variedade de arroz e do tipo de tratamento utilizado no processamento, contém cerca de 15-20% de gordura, 12-16% de proteínas, 23-28% de fibra e 7-10% de cinzas, também é rico em vitaminas do complexo B e E (Cano *et al*, 2014).

A fracção proteica do farelo de arroz é composta essencialmente por 60% de albuminas, por 27% de prolaminas e glutelinas e por cerca de 7% de globulina (Walter *et al*, 2008).

Quanto às fibras alimentares estas representam uma componente importante na dieta, uma vez que exercem diversos efeitos fisiológicos benéficos para a saúde (Fiorda *et al*, 2013). A adição do farelo de arroz aumenta o teor de fibra das massas diminuindo o trânsito intestinal, aumenta a velocidade de absorção da glicose, diminui os níveis de colesterol e reduz o conteúdo de calorias

ingeridas pela saciedade que promove (Silva *et al*, 2008). O farelo é rico em fibras, nomeadamente em celulose, lignina e pentosanas. Estas são relativamente indigestas e devido à presença de níveis elevados de antioxidantes são responsáveis por atribuir sabores amargos e cores escuras aos alimentos (Aravind *et al*, 2012).

Relativamente ao teor de minerais presente no farelo, este ronda os 8% (Faria *et al*, 2012) é rico em ácido fólico, vitaminas E e B e ácido aminobutírico (Naves, 2007; Walter *et al*, 2008; Weber, 2012).

2.4.5. Farinha de milho

O milho (*Zea mays* L.) é o terceiro cereal mais consumido mundialmente, no entanto cerca de 80% da produção mundial tem como destino a alimentação animal e só 20% é utilizado para consumo humano (Carena, 2009; Botelho, 2012; Moura 2012). Este cereal pode ser consumido “in natura” ou na forma de produtos industrializados (Moura, 2012).

A farinha de milho é processada a partir da moagem do grão de milho seguida por uma peneiração. Cerca de 9,5% do grão é processado pela indústria de moagem, para consumo humano, como farinha, amido, edulcorantes, óleo, álcool, tortilhas, *snacks*, cereais, bioplásticos entre outros (Carena, 2009; Moura, 2012).

O milho é um cereal constituído basicamente por glúcidos (70%) dos quais integram o amido a celulose e outros açúcares. Contém um teor proteico próximo de 10%, destacando-se a zeína, as prolaminas, albuminas, globulinas e gluteninas. No entanto, é pobre em alguns aminoácidos como o triptofano e a lisina (Carena, 2009; Silva *et al*, 2008; Botelho, 2012).

Os lípidos representam cerca de 4,5% da composição nutricional da farinha de milho, destacando-se principalmente os carotenóides (Silva *et al*, 2008; Botelho, 2012).

O milho é outro dos cereais extremamente utilizado na produção de alimentos para celíacos, nomeadamente na produção de massas (Padalino *et al*, 2013). A presença de pigmentos naturais, como é o caso da criptoxantina e da zeaxantina, que além de serem precursores da vitamina A também actuam como corantes naturais nas massas e conferem uma aparência atraente (Silva *et al*, 2008).

2.4.6. Aditivos que melhoram a textura das massas alimentícias isentas de glúten

A adição de ingredientes que visam melhorar a textura das massas alimentícias isentas de glúten pode representar uma alternativa interessante na redução dos defeitos e no melhoramento do comportamento das massas antes e após a cozedura (Arendt *et al*, 2009; Marti *et al*, 2013). Neste contexto, é frequente recorrer à utilização de amidos modificados, hidrocolóides, proteínas, enzimas, emulsionantes, entre outros (Ormenese *et al*, 2002; Marti *et al*, 2010; Mariotti *et al*, 2011; Larrosa *et al*, 2013; Padalino *et al*, 2013).

Existem inúmeras matérias-primas que representam uma boa fonte de amido, como é o caso do arroz, do milho, do sorgo, dos pseudocereais, e da farinha de algumas leguminosas (Silva *et al*, 2006; Marti *et al*, 2010). Este amido pode ser modificado por processos físicos, tais como tratamentos

térmicos, exposição a radiações ou através de processos químicos (reticulação ou acetilação) e empregue no fabrico de massas alimentícias (Silva *et al*, 2006; Ohishi *et al*, 2007; Cham *et al*, 2010).

Os hidrocolóides ou gomas apresentam outra possibilidade para incorporação neste tipo de produtos, devido à capacidade de proporcionar uma boa consistência à temperatura ambiente, melhorar a firmeza e dar corpo e paladar às massas. Além disso, as gomas podem aumentar a taxa de hidratação devido à capacidade de formar ligações com a água (Ormenese *et al*, 2002; Friberg *et al*, 2005; Larrosa *et al*, 2013). Existe uma gama ampla de hidrocolóides que podem ser utilizados com esta finalidade, no entanto apresentam um custo elevado, tais como a goma-arábica, a goma de xantana, a goma de semente de alfarroba, a carboximetilcelulose (CMC) entre outras (Friberg *et al*, 2005; Sozer, 2009; Larrosa *et al*, 2013).

A incorporação de proteínas nas massas isentas de glúten apresenta outra alternativa interessante, visto que a sua utilização além de melhorar significativamente a textura destes produtos contribui para o enriquecimento nutricional, uma vez que os alimentos para celíacos normalmente são pobres nestes constituintes. As proteínas são encontradas no mercado na forma de farinha, concentrado ou isolado proteico. Neste contexto, vários estudos foram realizados (Ormenese *et al*, 2002; Friberg *et al*, 2005; Sozer, 2009; Marti *et al*, 2013) onde foi verificada uma melhoria na textura da massa, com a incorporação de proteínas de peixe, de ovo, de leite (proteínas de soro, caseína, leite em pó), de plasma sanguíneo e derivadas de microrganismos na formulação destas massas. As proteínas de origem vegetal também são amplamente utilizadas como é o caso da soja, ervilha, fava, tremço entre outras (Ormenese *et al*, 2002).

Relativamente aos emulsionantes estes actuam como lubrificantes no processo de extrusão, aumentam a uniformidade, a espessura e o brilho das massas onde são incorporados e proporcionam uma consistência mais firme e uma superfície menos adesiva, devido à capacidade de formar complexos insolúveis com a amilose durante o aquecimento, o que retarda o intumescimento dos grânulos e proporciona um aumento da viscosidade (Lai, 2002; Nabeshima *et al*, 2003; Friberg *et al*, 2005; Nabeshima, 2007). Os mais comuns são os monoglicerídeos e os ésteres de ácidos lácticos (Nabeshima *et al*, 2003).

Apesar dos vários efeitos positivos aliados à adição destes constituintes (Sozer, 2009), os consumidores muitas vezes associam a sua presença a produtos “artificiais”. Sendo assim, a adição de ovos exerce uma importante influência na qualidade das massas alimentícias isentas de glúten, fornecem cor e melhoram as características texturais (Ormenese *et al*, 2002; Fernando *et al*, 2013).

Schmiele *et al* (2013) identificou que a adição de albumina de ovo na produção de massas isentas de glúten promoveu a formação de uma rede proteica que envolve os grânulos de amido, limitando o acesso da água e a lixiviação da amilose, originando uma massa mais resistente e mais firme. A capacidade ligante das proteínas que constituem a albumina, permite a formação desta rede proteica (uma vez que a farinha de arroz é deficiente em proteínas) e que vai actuar de forma a melhorar a estrutura do produto final, tornando-o mais resistente antes e após a cozedura (Fernandes *et al*, 2013), tal facto contribui para a redução dos sólidos solúveis na água, para a diminuição do índice de inchamento e para a diminuição da viscosidade das massas. A adição da albumina também melhora a composição nutricional das massas alimentícias isentas de glúten (Fiorda *et al*, 2013).

2.5. Caracterização física das massas alimentícias

2.5.1. Comportamento reológico

A reologia é conhecida como a ciência que se ocupa do estudo do escoamento (líquidos) e da deformação (sólidos) dos materiais quando solicitados por uma tensão. Estes materiais podem ser sólidos, líquidos, géis, espumas, emulsões, suspensões e materiais fundidos. Industrialmente esta é aplicada em diversas áreas, como é o caso do processamento, do controlo de qualidade, do desenvolvimento de novos produtos e de estudos do consumidor (Sousa, 2001; Bourne, 2002; Rao, 2007).

Com o intuito de avaliar o comportamento e as propriedades reológicas dos materiais podem ser efectuados vários tipos de ensaios, os fundamentais, os empíricos e os imitativos (Rao, 2007).

Os ensaios fundamentais são utilizados para prever a microestrutura de materiais complexos, como é o caso dos géis, o escoamento de fluidos estruturados e os parâmetros viscoelásticos. Os ensaios empíricos não têm uma base científica rigorosa, mas são importantes para definir parâmetros que estão pouco definidos, visto que se baseiam na experimentação e observação e os resultados estão dependentes da geometria das amostras e das condições do teste. Por sua vez, os ensaios imitativos visam a reprodução das etapas do processamento de um determinado produto à escala laboratorial, onde é realizada uma avaliação ao comportamento do produto (Sousa, 2001; Bourne, 2002; Rao, 2007).

Relativamente às propriedades reológicas, estas são características e únicas de cada material, no caso dos sólidos destaca-se a elasticidade, enquanto no caso dos líquidos a viscosidade. No entanto, a distinção entre o estado físico dos materiais não é tão linear, por exemplo, um determinado material pode comportar-se como um sólido ou como um líquido dependendo do tempo de deformação que lhe é aplicado, a estes materiais dá-se o nome de viscoelásticos, visto que apresentam comportamento elástico e viscoso (Sousa, 2001; Bourne, 2002; Rao, 2007), como é o caso das massas alimentícias.

A avaliação do comportamento viscoelástico linear é efectuada a partir de ensaios fundamentais, em regime oscilatório e em reómetros de tensão controlada.

O módulo dinâmico complexo (G^* em Pa), cuja equação se apresenta em seguida, descreve as propriedades reológicas dos materiais viscoelásticos.

$$G^* = G' + i.G'' \quad (\text{equação 1})$$

Onde, o G' representa o módulo elástico ou de armazenamento, que reflecte a contribuição elástica do material e representa a energia armazenada, enquanto o G'' representa o módulo viscoso ou dissipativo que reflecte a contribuição viscosa e representa a energia dissipada (Sousa, 2001).

Na determinação das propriedades viscoelásticas dos materiais é possível efectuar vários testes, como se pode observar no quadro 2.

Quadro 2 - Tipos de testes utilizados na determinação das propriedades viscoelásticas dos materiais.

Tipo de teste	Condições do teste	Determinação/Informação do teste
Fluência (<i>creep</i>)	Tensão mantida constante	Deformação e escoamento da amostra
Relaxação da tensão	Deformação constante	Tempo de relaxação do material
Oscilatório de varrimento de tensão/deformação	Aumento gradual da amplitude	Avalia a estabilidade da estrutura no intervalo da linearidade
Oscilatório de varrimento de tempo	Mantêm-se constantes a frequência e a amplitude	Monitoriza a reacção química que está a ocorrer no material
Oscilatório de varrimento de frequência	A frequência aumenta progressivamente	Espectro mecânico do material
Oscilatório de varrimento da temperatura	Mantêm-se constantes a amplitude e a frequência enquanto a temperatura varia.	Obtém-se a temperatura de fusão e de gelatinização

Fonte: Bourne, 2002

Na realização dos testes de varrimento de temperatura é importante estabelecer a tensão dentro da zona viscoelástica linear do material, onde o comportamento deste é independente da tensão aplicada, de modo a que a estrutura interna se mantenha intacta durante o decorrer do teste (Sousa, 2001; Rao, 2007).

Os ensaios reológicos estão a ser cada vez mais utilizados para correlacionar as propriedades reológicas com a estrutura molecular e as propriedades térmicas do amido de arroz utilizado na incorporação das massas alimentícias isentas de glúten (Wani *et al*, 2012). Estes resultados fornecem informações que permitem optar pelas melhores estratégias de selecção dos ingredientes, para projectar e otimizar o produto final (Larrosa *et al*, 2013).

2.5.2. Análise de textura

A textura é considerada a característica mais importante dos alimentos sólidos, uma vez que permite estudar as alterações que ocorrem durante o seu processamento e armazenamento e simultaneamente avaliar a sua aceitabilidade ou rejeição (Sousa, 2001). Neste contexto, a textura define-se como o conjunto das propriedades físicas que são percebidas através da análise sensorial e que são consequência da estrutura interna dos materiais (Rosenthal, 1999; Bourne, 2002). Esta pode ser determinada através da avaliação instrumental ou sensorial (Rosenthal, 1999; Bourne, 2002; Kilcast, 2013).

A avaliação instrumental da textura é realizada através do texturómetro que é um equipamento constituído por um dinamómetro que fornece energia mecânica ao material a uma taxa constante. Neste equipamento é utilizada uma sonda que contacta com a amostra através de vários processos (compressão, penetração ou tracção). Como resultado obtém-se uma curva de força versus tempo ou força versus distância, consoante o tipo de teste, onde é registada a variação dos parâmetros de textura dos materiais (Sousa, 2001; Bourne, 2002; Kilcast, 2013). Por sua vez, a

avaliação instrumental da textura está dependente da geometria da amostra, do tipo de sonda utilizada, da velocidade do braço e da profundidade a que esta actua (Rosenthal, 1999; Bourne, 2002).

O texturómetro permite realizar inúmeros testes sendo que o mais comum é o TPA – *Texture Profile Analysis*, Teste de Perfil de Textura, ou ensaio das duas dentadas (incisivos e molares), uma vez que este apresenta uma excelente correlação com a análise sensorial (Bourne, 2002). Consiste num teste empírico, onde uma sonda actua duas vezes sobre a amostra em penetrometria ou compressão, com um tempo de espera entre elas que permite a recuperação do material e que é definido de acordo com a amostra a analisar (Rosenthal, 1999; Bourne, 2002). A compressão/penetração pode ocorrer até 90% do material segundo Bourne (2002) e Kilcast (2013).

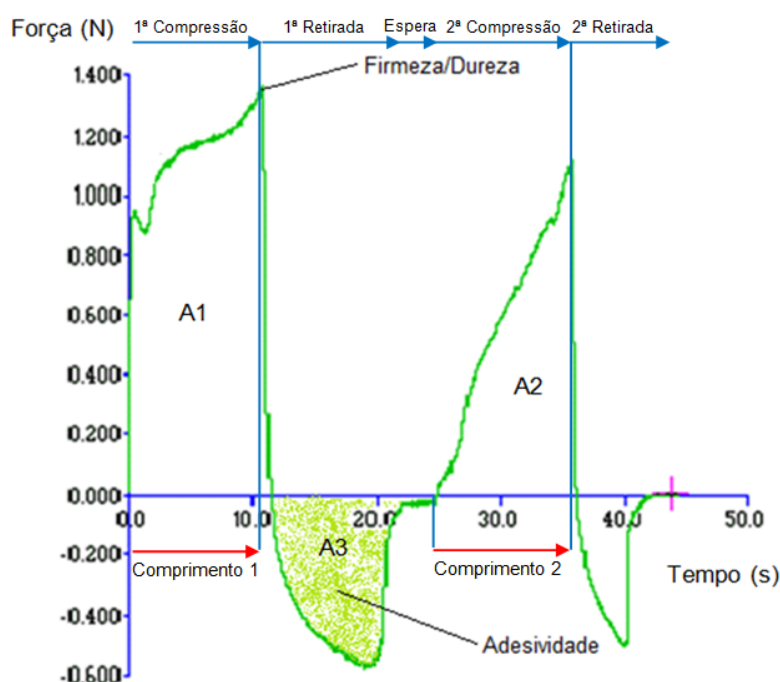


Figura 8 - Representação de um teste de Análise de perfil de textura (TPA).

Fonte: Adaptado de Bourne, 2002

O teste de perfil de textura é baseado no reconhecimento da textura como sendo um atributo que está dependente de vários factores (Rosenthal, 1999; Bourne, 2002; Kilcast, 2013). Como tal, a partir da curva representada na figura 8, é possível extrair vários parâmetros texturais da amostra (dureza/firmeza, coesividade, elasticidade, adesividade, fracturabilidade, “*gumminess*” e “*chewiness*”). Alguns destes encontram-se definidos no quadro 3.

Quadro 3 - Principais parâmetros obtidos no teste TPA relacionados com a avaliação sensorial dos alimentos.

Parâmetros determinados a partir do TPA	Descrição	Unidades
Dureza ou Firmeza	É definida como a força máxima durante o primeiro ciclo de compressão (equivalente à força necessária para comprimir os alimentos entre os molaes)	kg, g, N
Coesividade (A1/A2)	Pode ser medida como a taxa a que um determinado material se desintegra sob acção mecânica, corresponde à razão entre o trabalho realizado no segundo ciclo e o realizado durante o primeiro. Depende das forças exercidas pelas ligações internas do alimento.	Adimensional
Elasticidade (Comprimento 2/Comprimento 1)	Relaciona-se com a capacidade de recuperação do material entre a primeira e a segunda penetração, quando a sonda é removida é calculada através do quociente entre as duas deformações. Neste teste obtém-se a percentagem de recuperação do material	Adimensional
Adesividade (A3)	Este parâmetro é determinado pela área negativa do gráfico e corresponde ao trabalho necessário para remover a sonda do material após a primeira penetração.	Kg.s, g.s, N.s

Fonte: Kilcast, 2013

No caso das massas alimentícias a dureza/firmeza e a adesividade obtidos no TPA são os parâmetros mais importantes na avaliação da textura (Ormenese *et al*, 2002). Não obstante, segundo Cafieri *et al* (2010) é recorrente o uso de outros testes como é o caso do teste de compressão (firmeza), de corte (firmeza), e de tensão/extensão (extensibilidade) na avaliação da textura deste produto.

O teste de compressão mede a resistência da amostra (firmeza) quando comprimida por uma sonda cujo diâmetro deverá ser superior à área da amostra. Este teste permite ainda determinar a elasticidade do material, em percentagem (%) através da razão entre a força aplicada durante 60 segundos e a força máxima (multiplicada por 100) (Bourne, 2002).

Existem dois tipos de testes de compressão o “*uniaxial compression*”, utilizado para sólidos e semi-sólidos e o “*bulk compression*”, raramente utilizado na área alimentar (Bourne, 2002). Na compressão uniaxial (*uniaxial compression*) a amostra é comprimida apenas numa direcção. Se a força de compressão for baixa e não ocorrerem alterações irreversíveis na amostra o teste é considerado não destrutivo, por sua vez, se a força exercida for elevada e causar a ruptura do material então o teste é considerado destrutivo, uma vez que origina alterações irreversíveis na estrutura da amostra (Rosenthal, 1999; Bourne, 2002).

No caso das massas alimentícias deverá ser aplicada uma força de compressão baixa para garantir a integridade da amostra. Como tal, utilizam-se testes de compressão uniaxiais não destrutivos (Sousa, 2001; Bourne, 2002).

O teste de corte também é extremamente utilizado na determinação da firmeza das massas alimentícias (Kill *et al*, 2001). Este visa obter valores para a dureza/firmeza com recurso a uma sonda

de corte, que ao entrar em contacto com a amostra começa a cortá-la. Os valores da firmeza estão associados à força máxima que a sonda efectua para que consiga cortar a amostra (Rosenthal, 1999; Bourne, 2002).

A extensibilidade das massas é outro parâmetro importante na sua caracterização, esta é obtida através de testes de tensão/extensão. A tensão é definida como uma força normal que actua à superfície do corpo e que é dirigida para o exterior, neste caso, a ruptura deve ocorrer perpendicularmente à força que é aplicada no ensaio. Este teste é amplamente utilizado para determinar a extensibilidade da massa esparguete (Rosenthal, 1999; Kill *et al*, 2001; Bourne, 2002).

A utilização destes testes por parte da indústria alimentar, nomeadamente na produção de massas alimentícias, permite determinar as características texturais de modo a estabelecer parâmetros de qualidade para este tipo de produto, tornando possível o desenvolvimento de novas formulações com características similares e com uma elevada aceitabilidade por parte dos consumidores.

2.6. Cor

A cor é considerada um dos principais atributos de qualidade nas massas alimentícias (Ormenese *et al*, 2002), visto que influencia directamente a aceitação do consumidor (Carini *et al*, 2009).

Quando a cor é favorável estimula o apetite e contribui significativamente para a aprovação dos produtos (Zhu *et al*, 2010).

A percepção humana da cor pode ser quantificada através da ajuda de modelos matemáticos descritos pela colorimetria. (McDonald, 1997) Sabe-se que o espaço físico das cores é baseado na teoria da percepção tricromática e descrito pelo sistema CIE (*Commision Internationale L'Eclairage*). Esta teoria é baseada na capacidade que o olho humano tem de reconstruir os estímulos coloridos graças à mistura de determinadas quantidades dos três estímulos fundamentais às luzes primárias cromáticas, o vermelho (700 nm), o verde (546 nm) e o azul (436 nm) (McGuire, 1992; McDonald, 1997; Régula, 2004).

O espaço de cores segundo a CIE $L^*a^*b^*$ encontra-se representado na figura 9.

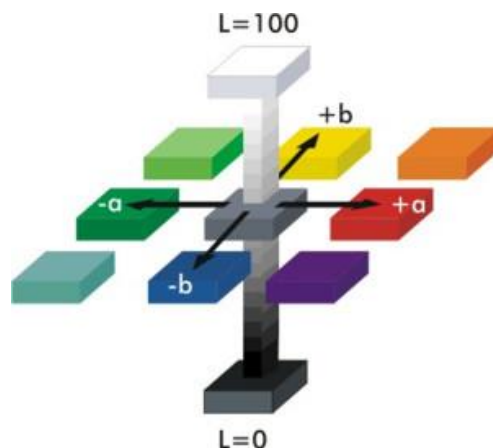


Figura 9 – Espaço de cor CIE L*a*b*.

Fonte: <http://corisectelmo.blogspot.pt/2011/01/aula-21-espaco-de-cor-lab.html>

Como referido anteriormente, a cor é expressa através dos parâmetros dos três estímulos (L^* , a^* , b^*), a luminosidade (L^*) está relacionada com o brilho que determinado objecto emite e assume valores compreendidos entre o 0% (preto) e o 100% (branco). Por sua vez, a componente a^* varia entre -60 (verde) e +60 (vermelho), enquanto a componente b^* está situada entre o -60 (azul) e o +60 (amarelo) (McGuire, 1992; McDonald, 1997; Régula, 2004).

A cromaticidade (C^*) ou *croma* indica a pureza ou a saturação da cor (McDonald, 1997). Quanto mais cinzento, preto ou branco, for misturado a uma cor, menor será a saturação. Por sua vez, quando a cor é completamente cinzenta, este parâmetro apresenta valor de saturação zero. Neste sentido o C^* tem valor 0 no centro do sólido cromático e este valor vai aumentar com a distância ao centro do sólido de acordo com a expressão seguinte (McDonald, 1997; Régula, 2004).

$$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (\text{equação 2})$$

Outro parâmetro da cor é o h_{ab}° (*hue*) definido como o ângulo da tonalidade (Régula, 2004; Hunt *et al*, 2011)). É uma propriedade relacionada com as cores cromáticas (vermelho, azul, amarelo, verde) e toma diversos valores consoante o comprimento de onda. Este é representado em graus e inicia-se no 0 ou 360° (vermelho) que corresponde ao eixo +a segue-se os 90° (amarelo) representados no eixo +b, os 180° (verde) representados no -a e finalmente o ângulo de 270° (azul) associa-se ao eixo -b (McDonald, 1997; Hunt *et al*, 2011). Na determinação deste parâmetro é utilizada a expressão seguinte (McDonald, 1997; Régula, 2004).

$$h_{ab}^* = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (\text{equação 3})$$

Relativamente à diferença entre duas cores esta é definida por dois estímulos no espaço que quando coincidentes apresentam uma diferença de zero, no entanto, se a distância entre estes aumenta a diferença de cor é percebida entre os estímulos. (McDonald, 1997; Hunt *et al*, 2011)

Para medir esta diferença utiliza-se a expressão ΔE^* que mede a distância entre esses dois pontos no espaço tridimensional. A diferença de cor que se verifica entre duas amostras é obtida através da expressão (McDonald, 1997; Régula, 2004; Hunt *et al*, 2011):

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (\text{equação 4})$$

$$\Delta L^* = L^*_{\text{amostra crua}} - L^*_{\text{amostra cozida}}, \Delta a^* = a^*_{\text{amostra crua}} - a^*_{\text{amostra cozida}}, \Delta b^* = b^*_{\text{amostra crua}} - b^*_{\text{amostra cozida}}.$$

A interpretação destes resultados é feita de acordo com uma escala. Aos valores compreendidos entre 0 e 0,5 correspondem diferenças que não são detectadas pelo olho humano. As ligeiras diferenças entre a cor, começam a ser perceptíveis entre os 0,5 e 1,5. No entanto, no intervalo de 1,5 a 3,0 são detectadas as primeiras diferenças na cor por pessoas treinadas para o efeito, a partir destes valores é que as desigualdades entre a cor se tornam perceptíveis para as pessoas comuns (3,0 a 6,0). Quando existem diferenças acentuadas na cor os valores estão compreendidos entre 6,0 e 12,0 sendo que valores superiores estão associados a diferenças extremas (Régula, 2004; Hunt *et al*, 2011).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

3.1.1. Materiais utilizados na caracterização das massas alimentícias disponíveis no mercado

O desenvolvimento de novos produtos apresenta um grande desafio para a indústria, visto que consiste num processo bastante complexo, que exige o conhecimento do mercado e a definição de uma estratégia adequada consoante o alvo a atingir. Neste caso particular, para o desenvolvimento e optimização de massas alimentícias isentas de glúten é indispensável definir as características do produto alvo e simultaneamente delimitar os intervalos para a variação dos parâmetros texturais e de qualidade destes produtos.

No decorrer deste estudo foram analisadas 3 massas alimentícias para celíacos, sendo que a ausência de massas alimentícias frescas conduziu à aquisição de vários produtos secos, tipo esparguete, com diferentes formulações como meio de comparação.

Uma vez que o objectivo deste trabalho é o desenvolvimento e optimização de uma massa alimentícia fresca isenta de glúten a partir de farinha de arroz e farinha de milho, as amostras comerciais escolhidas apresentam na sua composição pelo menos um destes constituintes ou ambos. Também foi analisada uma massa alimentícia comercial fresca, à base de trigo, como termo de comparação para permitir a optimização das amostras a desenvolver.

As massas alimentícias comerciais foram codificadas de acordo com a composição, como é possível observar no quadro 4.

Quadro 4 – Codificação das massas alimentícias comerciais de acordo com a sua composição descrita na embalagem.

Código da amostra	Descrição da composição das amostras
MRQ	Farinha de Arroz (75%), Farinha de Quinoa (25%)
MMA	Farinha de Milho (80%), Farinha de Arroz (20%)
MA	Farinha de Arroz (86%), Água, Lecitina de girassol
MTF	Sêmola de trigo duro, ovos (20%), água

Na figura 10 é possível observar as amostras comerciais analisadas antes da cozedura das mesmas.



Figura 10 - Massas alimentícias comerciais cruas seleccionadas como termo de comparação no desenvolvimento de massas alimentícias frescas isentas de glúten.

3.1.2. Materiais utilizados na produção dos géis e das massas alimentícias frescas isentas de glúten

Na produção dos géis a incorporar nas massas alimentícias isentas de glúten utilizaram-se farinha de arroz carolino e água da rede.

As massas alimentícias produzidas no decorrer do presente trabalho apresentaram na sua constituição gel de arroz, farinha de trinca de arroz carolino, farinha de milho tipo 70 (CEIFEIRA®), farelo de arroz carolino estabilizado a 138°C durante 51 minutos com granulometria <350 µm, clara de ovo e sal fino (AUCHAN®).

A título de comparação foi criada uma massa de trigo controlo, com farinha de trigo tipo 65 da marca *Nacional*, água da rede e sal fino (AUCHAN®).

As composições nutricionais das farinhas e do farelo utilizados encontram-se descritos no quadro 5. Os valores registados para a farinha de trigo e de milho estão de acordo com a rotulagem fornecida pelo fornecedor. No referente à farinha de trinca de arroz carolino e ao farelo de arroz estabilizado os valores assinalados na tabela foram determinadas em laboratório, num trabalho paralelo ao presente e fornecidos para apresentação na presente dissertação.

Quadro 5 - Composição nutricional por 100g de produto das farinhas e do farelo utilizados na confecção das massas alimentícias frescas.

Composição nutricional por 100g de produto	Farinha de trigo Nacional tipo 65	Farinha de milho Ceifeira tipo 70	Farinha de trinca de arroz carolino	Farelo de arroz carolino estabilizado (<350 µm)
Glúcidos	73g	78,3g	77,9g	57,1g
Proteínas	10g	5,4g	4,9g	14,2g
Lípidos	1,5g	2,1g	2,7g	17,2g
Fibra Total	3,3g	-	9,75g	44,19g
Cinza	-	-	0,6g	8,3g
Sal	0,03g	<0,1g	-	-
Humidade	-	-	13,9g	3,2g

Todos os produtos utilizados no decorrer deste trabalho foram declarados isentos de glúten.

3.1.3. Equipamentos e utensílios

Os principais utensílios e equipamentos utilizados no desenvolvimento deste trabalho foram:

- ✓ Balança de precisão TC-403 da Denver Instrument Company com capacidade máxima de 410±0,001g.
- ✓ Agitador Eurostar digital da Ika Labortechnik, 50-2000±3 rpm, com hélice R 1342 propeller stirrer 4fl.
- ✓ Máquina da massa Atlas Wellness 150 da Marcato em inox, com cilindro de alumínio, mecanismo automático ou manual e com capacidade para 4 tipos de massas (*lasanha, taglierini, fettuccine e spaghetti rotondi*), ajustável a 9 posições.
- ✓ Placa aquecimento com agitador magnético da VELP Scientifica modelo ARE. Capacidade de aquecimento até 370°C, com regulador de velocidade até 1500 rpm e com capacidade até 15 litros.
- ✓ Termómetro digital Vertex, da VELP Scientifica, modelo VTF. Capacidade para programar a temperatura e o tempo, com uma precisão de ±0,5°C.
- ✓ Estufa de secagem, 102±3°C da WTC Binder, modelo ED-53, com capacidade de aquecimento até 300°C.
- ✓ Exsicador da Duran.
- ✓ Colorímetro da Minolta modelo CR300.
- ✓ Medidor do a_w da Rotronic, modelo HygroLab C1, com sonda HC2-AW.
- ✓ Reómetro da Thermo Fisher Scientific modelo HAAKE MARS III com sistema Peltier, software RheoWin, com controlador de temperatura (-150°C e 600°C), capacidade de integração de vários tipos de células (pressão até 400 bar, UV, ópticas). Foram utilizados os pratos serrados TMP 35 Ti S, e TMP 20 Ti S e as sondas PP35 Ti, e PP20 Ti.

- ✓ Texturómetro modelo TA.XT.plus Texture Analyser da Stable Micro Systems, com software Exponent. As sondas utilizadas foram: HDP/BSG (blade set with guillotine), A/TG (tensile grips), P/10L (10 mm cylinder perspex) e P/60 (60 mm compression platen).

3.2. Métodos

3.2.1. Caracterização das massas alimentícias comerciais disponíveis no mercado

Numa fase inicial foi realizado um levantamento das massas comerciais isentas de glúten disponíveis no mercado, definidos os respectivos fornecedores, os tipos de massas, a composição, o preço, o distribuidor e o país de origem.

Após este estudo foram adquiridas algumas amostras conforme referido no ponto 3.1.1 dos materiais e efectuadas as respectivas análises. Estas análises consistiram na avaliação dos parâmetros tecnológicos de cozedura, na avaliação da textura após a cozedura no tempo óptimo e na medição da cor das amostras cruas e cozidas.

O tempo óptimo de cozedura utilizado nas determinações esteve de acordo com as indicações dos fornecedores e encontra-se referido no quadro 6 para as respectivas amostras.

Quadro 6 - Tempo óptimo de cozedura das massas comerciais, consoante as recomendações do respectivo fornecedor.

Código da Amostra	Tempo utilizado (min)
MRQ	15
MMA	14
MA	12
MTF	6

Relativamente aos parâmetros tecnológicos de cozedura das massas alimentícias comerciais foram determinados a perda de sólidos solúveis, a absorção de água e o índice de inchamento. A metodologia utilizada encontra-se descrita no ponto 3.2.9..

Na determinação da textura das massas alimentícias comerciais foram realizados dois testes, um de corte para determinar a firmeza das massas e um teste de tensão para determinar a extensibilidade. Estes testes foram efectuados de acordo com a metodologia descrita no ponto 3.2.5..

Por sua vez, a determinação da cor efectuou-se de acordo com o método descrito no ponto 3.2.8..

As medições foram realizadas numa sala com temperatura controlada $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

3.2.2. Determinação das propriedades reológicas dos géis

As propriedades reológicas dos géis foram determinadas com base num varrimento de temperatura em regime oscilatório em suspensões com 40%(m/m), 50%(m/m) e 60%(m/m) de farinha

de trinca de arroz carolino e água. Registaram-se as variações da componente elástica (G') e viscosa (G'') como resultado da variação de temperatura.

Estes ensaios reológicos foram realizados com recurso a um sistema Peltier para controlo da temperatura acoplado no prato de um reómetro (Reómetro HAAKE MARS III) (figura 11) com tensão controlada.



Figura 11 – Reómetro HAAKE MARS III.

Para todos os ensaios foi utilizado um sistema sensor de pratos paralelos serrados, com 20mm de diâmetro para a amostra preparada com 60%(m/m) de farinha de arroz carolino (PP20 Ti/ TMP 20 Ti S) e com 35mm de diâmetro para as amostras com 40%(m/m) e 50%(m/m) de farinha de arroz carolino (PP35 Ti/ TMP 35 Ti S). O sistema sensor escolhido esteve de acordo com as características da amostra e utilizou-se um intervalo entre pratos de 1mm em todas as determinações.

A preparação das amostras consistiu na mistura manual da farinha de arroz carolino com diferentes concentrações (40%(m/m), 50%(m/m) e 60%(m/m)) e de água, durante 5 minutos até obter uma suspensão uniforme, que foi analisada de seguida.

As amostras foram colocadas no reómetro e para evitar a sua secagem, foi aplicada parafina líquida na superfície exposta.

Foi realizado um teste oscilatório de varrimento de tensão (0 a 100000 Pa), a cada uma das amostras com frequência constante (1Hz) e temperatura controlada (20°C) e estabeleceu-se as tensões adequadas, tendo em conta a zona viscoelástica linear de cada amostra.

Seguidamente procedeu-se à realização de um teste oscilatório de varrimento de temperatura, mantendo constante a frequência (1Hz) e a tensão, previamente determinada para cada uma das suspensões (40%(m/m) – 5Pa, 50%(m/m) – 10Pa, 60%(m/m) – 10Pa). O tempo de aquecimento foi fixado em 7200s e o tempo de arrefecimento em 600s para cada uma das amostras. A temperatura de aquecimento variou entre 20 e 80°C e o arrefecimento entre os 80 e 20°C. Este teste permitiu obter resultados relativos ao comportamento viscoelásticos dos três géis em função da variação da temperatura.

À suspensão com 40%(m/m) de farinha de arroz carolino foi realizado novamente um teste oscilatório de varrimento de temperatura, nas mesmas condições anteriormente referidas mas com

diferentes tempos de aquecimento, 1800s e 3600s, para determinar a influencia da velocidade de gelatinização na estruturação da amostra.

Todos os testes foram realizados em duplicado numa sala a temperatura controlada $20\pm 2^{\circ}\text{C}$.

3.2.3. Elaboração do gel

Após definir as características de gelatinização da farinha de trinca de arroz, passou-se à produção do gel.

Pesaram-se os ingredientes numa proporção de 40%(m/m) de farinha de trinca de arroz carolino e 60% de água destilada. A solução foi colocada em banho-maria, durante 20, 30 e 40 minutos, com agitação mecânica (agitador Eurostar, com hélice R 1342 propeller stirrer 4fl), a uma velocidade de $300\pm 3\text{rpm}$ e com temperatura controlada nos 95°C (termómetro digital Vertex) (Ormenese *et al*, 2002; Marti *et al*, 2013), para garantir a gelatinização do amido. Realizaram-se 4 repetições para cada tempo de gelatinização.

Os géis foram deixados a maturar durante 1 hora, e após esse período procedeu-se à análise do TPA de acordo com a metodologia descrita no ponto 3.2.5. e à incorporação nas várias formulações.

3.2.4. Preparação das massas alimentícias

A preparação das massas alimentícias iniciou-se com a pesagem dos ingredientes a utilizar na massa de trigo controlo (MTC). As proporções utilizadas foram 69,5%(m/m) de farinha de trigo, 30% de água e 0,5%(m/m) de sal. Esta massa foi amassada manualmente durante cerca de 6 minutos de forma a obter um produto com uma textura uniforme.

Relativamente às massas isentas de glúten, a preparação incluiu também a pesagem de ingredientes mas com diferentes proporções até obter um produto com as características desejáveis.

Estas tiveram na sua constituição gel de farinha de trinca de arroz carolino, farinha de arroz carolino, farinha de milho, clara de ovo, farelo de arroz carolino estabilizado e sal. No quadro 7 é possível verificar as formulações utilizadas no fabrico das diferentes massas alimentícias.

Quadro 7 – Formulações das massas alimentícias frescas isentas de glúten (em %) com diferentes quantidades de gel, de farinha de arroz, de farinha de milho e de farelo.

Formulações das massas	Gel de Farinha de trinca de Arroz Carolino (%)	Farinha de trinca de Arroz Carolino (%)	Farinha de Milho (%)	Clara de Ovo (%)	Farelo de Arroz Carolino (%)	Sal (%)
MA1	21,65	64,95	-	12,9	-	0,5
MA2	43,3	43,3	-	12,9	-	0,5
MA3	64,95	21,65	-	12,9	-	0,5
MAM1	43,3	32,475	10,825	12,9	-	0,5
MAM2	43,3	21,65	21,65	12,9	-	0,5
MAM3	43,3	10,825	32,475	12,9	-	0,5
MM1	43,3	-	43,3	12,9	-	0,5
MAF1	43,3	42,3	-	12,9	1	0,5
MAF2	43,3	41,8	-	12,9	1,5	0,5
MAF3	43,3	41,3	-	12,9	2	0,5
MMF1	43,3	-	42,3	12,9	1	0,5
MMF2	43,3	-	41,8	12,9	1,5	0,5
MMF3	43,3	-	41,3	12,9	2	0,5

MA – massa de arroz, MAM – massa de arroz e milho, MM – massa de milho, MAF – massa de arroz e farelo e MMF – massa de milho e farelo.

Após a pesagem dos ingredientes, estes foram amassados manualmente, durante cerca de 6 minutos.

Às formulações com diferentes concentrações de gel de arroz (MA1, MA2 e MA3) foi realizado um teste TPA acompanhado de um teste de compressão de acordo com a metodologia descrita no ponto 3.2.5. para determinar a quantidade óptima de gel a incorporar na produção das massas alimentícias frescas isentas de glúten.

Seguidamente realizou-se um teste TPA para as restantes formulações e seleccionaram-se aquelas cujos valores de firmeza e adesividade permitiram obter uma formulação optimizada tendo em conta os valores obtidos para a massa de trigo controlo. A metodologia aplicada encontra-se descrita no ponto 3.2.5..

Continuamente passou-se à laminação das diversas massas alimentícias, escolhidas com base nos resultados do teste TPA (figura 12). Optou-se pela laminação uma vez que esta técnica é preferível à extrusão na produção de massas alimentícias frescas (Carini *et al*, 2009). A laminação das amostras foi feita em forma de esparguete (figura 12) para todos os testes, à excepção do teste de extensibilidade onde se optou pela forma de *tagliatelle*. Nesta etapa foram utilizados 3 ajustes com espessuras diferentes e as amostras sujeitas a diversas passagens de modo a obter uma massa alimentícia coesa. Todas as amostras (esparguete e *tagliatelle*) foram laminadas da mesma forma e submetidas ao 1º ajuste 4 vezes, ao 2º ajuste 2 vezes e ao 3º ajuste 2 vezes.



Figura 12 - Laminação de duas massas alimentícias frescas isentas de glúten com recurso à máquina Atlas 150 Wellness, MA1 à esquerda e MM1 à direita.

Posteriormente mediram-se os parâmetros da cor das massas cruas, o a_w e a humidade. As metodologias utilizadas encontram-se descritas nos pontos, 3.2.8, 3.2.7 e 3.2.6. respectivamente.

As amostras foram cozidas em água em ebulição, numa proporção de 1:10 e determinados os parâmetros tecnológicos de cozedura de acordo com a metodologia descrita no ponto 3.2.9.. Seguidamente, as massas alimentícias cozidas foram arrefecidas em água destilada e deixadas a escorrer durante 5 minutos.

Determinaram-se os parâmetros da cor após cozedura (ponto 3.2.8.) e avaliou-se a textura das massas alimentícias frescas isentas de glúten através de um teste de corte (firmeza) e de tensão (extensibilidade), de acordo com a metodologia descrita no ponto 3.2.5..

As determinações realizaram-se no mesmo dia em que foram preparadas as amostras em ambiente com temperatura controlada a $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

3.2.5. Avaliação da textura

A avaliação da textura dos géis de arroz e das massas alimentícias frescas isentas de glúten efectuou-se com recurso ao texturómetro modelo TA.XT.plus (figura 13), calibrado com uma célula de carga de 5kg (Ormenese, 2003), numa sala com temperatura controlada a $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Foram realizados testes de penetração/compressão, corte e tensão/extensão.



Figura 13 – Texturómetro TA.XT.plus.

I. Teste análise de perfil de textura (TPA)

Para a realização do teste TPA em todas as amostras (géis e massas) foi utilizada uma sonda cilíndrica de perspex P/10L (10 mm de diâmetro). O tempo de intervalo entre os dois ciclos de penetração foi de 5s para todas as amostras analisadas (géis e massas) e a velocidade de penetração foi mantida constante (1 mm.s^{-1}) em todos os ensaios.

Numa primeira fase os géis produzidos de acordo com a metodologia descrita no ponto 3.2.3. foram analisados. As amostras dos géis (30mm de altura e 25mm de diâmetro) foram penetradas a uma profundidade de 15mm. Realizaram-se 4 réplicas para cada gel (20min, 30min e 40min).

Sucessivamente analisaram-se as formulações das diversas massas alimentícias descritas no quadro 7. Neste caso as amostras foram penetradas a uma profundidade de 7mm, tendo em conta a geometria da amostra (15mm de altura e 50mm de diâmetro). Efectuaram-se 4 réplicas para cada amostra de massa.

Obtiveram-se texturogramas de força versus tempo a partir dos quais foi possível determinar os valores correspondentes dos parâmetros de firmeza (N) e adesividade (N.s) das massas alimentícias frescas. Este teste permitiu correlacionar a textura das diversas amostras numa primeira etapa, sem recorrer a um painel de provadores.

II. Teste de compressão

Na realização do teste de compressão utilizou-se a sonda P/60 (prato de compressão cilíndrico de alumínio com 60mm de diâmetro) que comprimiu a amostra (15 mm de altura e 50mm de diâmetro) com uma deformação de 25% durante 30s, a uma velocidade de 1 mm.s^{-1} . Obtiveram-se texturogramas de força versus tempo a partir dos quais se calculou o parâmetro de firmeza (N).

A este teste foram submetidas as massas alimentícias à base de farinha de arroz com uma concentração de gel de 21,65%(m/m), 43,3%(m/m) e 64,95%(m/m) (MA1, MA2 e MA3 respectivamente). Este teste foi realizado como complemento ao teste TPA, visto que nesta fase foi otimizada a quantidade de gel a incorporar na produção das massas alimentícias isentas de glúten.

Realizaram-se 4 repetições para cada amostra.

III. Teste de corte

Para a realização do teste de corte todas as amostras a analisar (MRQ, MMA, MA e MTF, MTC, MA2, MM1, MAF1 e MMF1) foram cozidas em água em ebulição numa proporção de 1:10 e no tempo óptimo de cozedura. Seguidamente arrefeceram-se os fios de esparguete em água destilada e deixaram-se a escorrer durante 5 minutos. Os fios de esparguete foram cortados com um comprimento de 50mm e colocados perpendicularmente à sonda (Ormenese, 2003) de acordo com a figura 14.

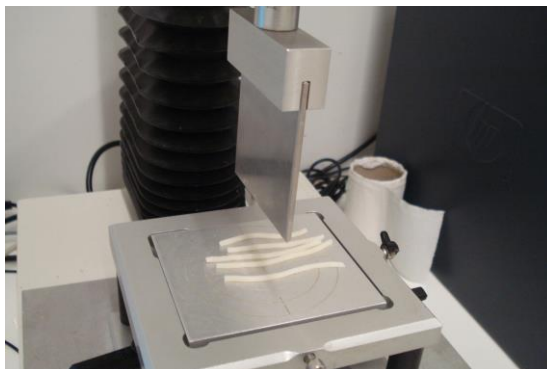


Figura 14 – Teste de corte (sonda HDP/BSG).

A firmeza das massas alimentícias isentas de glúten, após cozedura, foi determinada através do teste de corte, com recurso à sonda HDP/BSG (*blade set with guillotine*) (figura 14). A velocidade do teste foi programada nos $0,17\text{mm.s}^{-1}$ para todas as amostras e a distância de corte foi de 2,6mm para as amostras comerciais (MRQ, MA, MMA e MTF) e de 1,7mm para as amostras frescas desenvolvidas (MTC, MA2, MM1, MAF1 e MMF1). A distância de corte foi definida de acordo com a espessura das amostras a analisar.

Obtiveram-se texturogramas de força versus tempo a partir dos quais se calculou a firmeza (N) das massas alimentícias cozidas.

Realizaram-se 5 repetições para cada amostra de massa a analisar.

IV. Teste de tensão

Para a realização do teste de tensão, as amostras (MRQ, MMA, MA e MTF, MTC, MA2, MM1, MAF1 e MMF1) foram cozidas em água em ebulição numa proporção de 1:10 e no tempo óptimo de cozedura. Continuamente arrefeceram-se os fios de esparguete em água destilada e escorreram-se durante 5 minutos. As amostras foram cortadas com um comprimento de 70mm e analisadas seguidamente.

A extensibilidade (mm) foi determinada com base num teste de tensão, utilizando a sonda A/TG (*tensile grips*) (figura 15). A velocidade do teste foi mantida constante em todos os ensaios (1mm.s^{-1}). Neste teste, a força máxima (N) indica a resistência da amostra à ruptura, enquanto a distância (mm) percorrida até ao início da ruptura da amostra representa a extensibilidade (Cham *et al*, 2010). Nesta situação obtém-se texturogramas de força versus distância.

A extensibilidade foi determinada para as formulações comerciais (MRQ, MMA, MA e MTF) sob a forma de esparguete e para as formulações optimizadas (MTC, MA2, MM1, MAF1 e MMF1) na forma de *tagliatelle*.



Figura 15 – Teste de extensibilidade (sonda A/TG).

Efectuaram-se 5 repetições para cada amostra analisada.

3.2.6. Determinação da humidade

O teor de humidade das massas foi determinado com base na Norma Portuguesa NP-1614 (2009). As amostras (MTC, MA2, MM1, MAF1, MMF1) foram colocadas na estufa, em triplicado, a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ até massa constante da toma da análise, sendo que o teor de humidade foi determinado por perda de massa da amostra. Os resultados foram expressos em percentagem em massa.

3.2.7. Determinação da cor

A determinação da cor das massas foi efectuada com recurso a um colorímetro CR-300 (*Minolta*, Japão), com fonte de iluminação padrão D65 e calibrado com um padrão branco *Minolta* ($L=97,21$; $a=+0,14$; $b=+1,99$).

A cor das amostras (MA2, MM1, MAF1, MMF1, MRQ, MMA, MA, MTF e MTC) foi medida antes e após a cozedura das mesmas. As massas alimentícias foram colocadas no colorímetro e realizadas 10 tomas para cada amostra executadas em vários pontos. Os resultados obtidos foram avaliados pelo sistema de coordenadas $L^* a^* b^*$ (sistema CIEL*a*b*) (Lucisano *et al*, 2012). Posteriormente foram determinados os parâmetros C_{ab}^* (*Chroma*) e h_{ab}^0 (*hue*), de acordo com as equações 2 e 3 referidas no ponto 2.7.. Por sua vez, a diferença de cor que se verificou entre as amostras das massas alimentícias cruas e cozidas foi calculada através da equação 4, ΔE^* também descrita no ponto 2.7..

Este teste foi realizado numa sala climatizada a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$.

3.2.8. Parâmetros tecnológicos de cozedura

Os parâmetros tecnológicos de cozedura das massas foram avaliados numa sala com temperatura controlada $20\pm 2^{\circ}\text{C}$.

As massas foram cozidas numa proporção de 1:10 em água destilada em ebulição (Marti *et al*, 2010), durante o tempo óptimo de cozedura previamente determinado e sem adição de sal.

Os ensaios foram realizados em duplicado para as diversas amostras (MA2, MM1, MAF1, MMF1, MRQ, MMA, MA, MTF e MTC).

I. Tempo óptimo de cozedura

O tempo óptimo de cozedura é determinado pelo tempo necessário para que numa amostra de massa, cerca de 95% do eixo central mude da cor branca para opaca (gelatinização do amido) (Marti *et al*, 2010; Lucisano *et al*, 2012).



Figura 16 – Tempo óptimo de cozedura da amostra controlo (MTC) durante 9 min.

Na realização deste teste, a massa foi cozida em água destilada em ebulição durante 9 minutos. A cada minuto foi retirado um fio de esparguete (figura 16), arrefecido em água destilada e comprimido entre duas lâminas, até se verificar o tempo óptimo de cozedura (Fernandes *et al*, 2013).

Este teste foi utilizado na determinação do tempo óptimo de cozedura das amostras MTC, MA2, MM1, MAF1 e MMF1.

II. Índice de inchamento

O índice de inchamento é utilizado para avaliar a gelatinização do amido e a hidratação das proteínas presentes na massa durante a cozedura (Padalino *et al*, 2013). Este índice foi determinado através da cozedura de 10g de massa em 100ml de água durante o tempo óptimo de cozedura. Após a cozedura, o volume de água foi medido numa proveta, e a massa de amostra foi colocada na estufa

a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 1 hora até massa constante. A expressão utilizada no cálculo do índice de inchamento é (Tudorica *et al*, 2002):

$$\text{Índice de Inchamento (ml/g)} = \frac{\rho(\text{água}) \times V(\text{água absorvida na cozedura})}{m(\text{amostra seca})} \quad (\text{equação 5})$$

O valor obtido com esta expressão indica a variação do volume de um substrato após estar em contacto com excesso de água durante um certo tempo.

III. Perda de sólidos solúveis

A determinação da perda de sólidos solúveis é um teste muito importante na avaliação da qualidade das massas, porque expressa a resistência destas face à lixiviação e é um forte indicador da qualidade segundo vários autores como Carini *et al* (2009), Zhu *et al* (2010), Lucisano *et al* (2012), Fernandes *et al* (2013) e Susanna *et al* (2013).

Este teste foi realizado através da evaporação da água de cozedura da massa numa estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ (Lucisano *et al*, 2012). Esta mediu-se pela diferença de massa entre um copo de precipitação vazio e o peso do mesmo copo após a cozedura e evaporação da água. Sendo assim, cozeram-se 10 g de amostra (proporção 1:10) no tempo óptimo de cozedura. Seguidamente retirou-se a massa do copo e a água foi submetida à evaporação.

A perda de sólidos solúveis foi calculada através da expressão (Supawadee *et al*, 2010):

$$\text{Perda de sólidos solúveis (\%)} = \frac{m_{\text{resíduo (massa do copo após evaporação - massa inicial do copo)}}}{m_{\text{amostra crua}}} \times 100 \quad (\text{equação 6})$$

IV. Absorção de água

A absorção de água durante a cozedura é determinada pelo aumento de massa de uma amostra antes e após a cozedura e está relacionada com o rendimento da massa (Zhu *et al*, 2010; Lucisano *et al*, 2012).

Nesta determinação, pesa-se uma amostra conhecida de massa crua que é submetida à cozedura durante o tempo óptimo. Seguidamente procede-se ao arrefecimento da mesma em água destilada, escorre-se durante 5 minutos e pesa-se.

O cálculo da absorção de água é feito com base na seguinte expressão (Tudorica *et al*, 2002):

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{\text{Massa amostra cozida} - \text{Massa amostra crua}}{\text{Massa de amostra crua}} \times 100 \quad (\text{equação 7})$$

3.2.9. Análise sensorial

A análise sensorial teve como principal objectivo averiguar a percepção do consumidor face às diferenças na composição e textura das quatro formulações desenvolvidas, tal como determinar a preferência destes face às massas alimentícias frescas isentas de glúten desenvolvidas no presente estudo.

Nesta análise foram escolhidas quatro massas alimentícias frescas isentas de glúten, duas sem incorporação de farelo (MA2 e MM1) e duas com 1% de farelo incorporado (MAF1 e MMF1). A

avaliação do perfil sensorial foi efectuada com base no método de provas de pontuação, com o auxílio de uma escala estruturada (Anexo I), onde foram avaliados os atributos da cor, odor, sabor, textura, apreciação global e observações, e registadas as respectivas pontuações de acordo com a percepção dos provadores. Também foi avaliada a intenção de compra, numa escala com 5 pontos (1 = “definitivamente não compraria” a 5 = “definitivamente compraria”).

A prova foi realizada por um grupo de 25 provadores não celíacos e não treinados, com idade compreendida entre os 18 e os 40 anos, aos quais foram servidas as quatro amostras referidas anteriormente. As massas alimentícias frescas isentas de glúten foram cozidas no tempo óptimo de cozedura, previamente determinado, e arrefecidas em água fria de forma a terminar a cozedura e servidas de imediato. As amostras foram codificadas com três dígitos, números e letras e servidas em porções de 10g acompanhadas com molho de bolonhesa em pratos de plástico descartáveis e de forma aleatória. Entre amostras foi fornecido a cada provador água e maçã para limpar o palato.

3.2.10. Métodos estatísticos

No tratamento dos dados foi utilizado o software IBM SPSS Statistics 19.

Para comparar os resultados obtidos no presente trabalho referentes à textura, cor, parâmetros tecnológicos de cozedura, TPA, humidade e a_w recorreu-se à análise de variância (One-Way ANOVA) com um nível de significância de 5%, onde se pretende avaliar se existem diferenças significativas entre as várias médias resultantes dos diferentes tratamentos.

A hipótese a testar é $H_0: \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$ versus $H_1: \exists i, j$ tal que $\mu_i \neq \mu_j$, sendo que μ_i representa o valor médio da variável populacional da variável resposta com i -ésimo nível do factor.

Embora existam inúmeras funções que podem ser utilizadas para testar estas hipóteses é frequente recorrer-se à função de F. No entanto, esta função não permite comparar múltiplos tratamentos diferentes de cada vez, e como tal é necessário recorrer a outros testes (Oliveira, 2008; Box *et al*, 2005). Nesta sequência, para obter as comparações pretendidas recorreu-se à função estatística dos contrastes de Scheffé, uma vez que comparativamente ao Tukey apresenta intervalos de confiança maiores ao mesmo nível de significância (Oliveira, 2008; Box *et al*, 2005).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em conta as metodologias previamente descritas no capítulo 3 obtiveram-se os resultados apresentados neste capítulo. Os resultados estão representados nas seguintes etapas:

- Caracterização das massas comerciais existentes no mercado;
- Caracterização física dos géis produzidos e utilizados na formulação das massas alimentícias, através do estudo do efeito da concentração de farinha de arroz carolino nas características de gelificação (aquecimento e arrefecimento) e na avaliação do impacto do tempo de aquecimento nas características dos géis;
- Avaliação da textura dos géis;
- Efeito da concentração do gel nas características de textura das massas;
- Características de textura das massas alimentícias – optimização das formulações;
- Caracterização das massas alimentícias isentas de glúten (humidade, avaliação da cor, parâmetros tecnológicos de cozedura e análise da textura das massas alimentícias cozidas);
- Análise sensorial das massas alimentícias isentas de glúten.

4.1. Caracterização das massas alimentícias comerciais existentes no mercado

Actualmente o mercado de produtos para celíacos encontra-se em expansão. Através da observação do quadro 8 verifica-se que existem inúmeros fornecedores de massas alimentícias secas isentas de glúten disponíveis no mercado português.

Os principais ingredientes que constituem estes produtos são a farinha de arroz, farinha de milho, farinha de milho-miúdo, farinha de quinoa, lecitina de girassol, mono e diglicéridos de ácidos gordos, emulsionante E471, xarope de cana-de-açúcar e água, entre outros. A adição de proteínas, emulsionantes, gorduras e hidrocolóides ou a manipulação do amido presente nas farinhas utilizadas na produção destas massas é fundamental para a obtenção de produtos cujas características sensoriais não difiram das observadas nas massas de trigo tradicionais, para melhorar a aceitação por parte dos consumidores celíacos, e para concorrer com o mercado das massas de trigo.

Relativamente ao custo das massas alimentícias, pela observação do quadro 8 destaca-se que a massa mais acessível custa 1,89€/500g e que a mais cara custa 4,65€/500g. Esta desigualdade entre os preços resulta dos processos alternativos utilizados no fabrico destes produtos, da escassez de produtos no mercado, do aumento dos doentes portadores de alergias e intolerâncias alimentares e também da distribuição irregular dos recursos pelo país, uma vez que os distribuidores são poucos (*La Finestra sul cielo*, *Dietimport*, *Eko Vivendi, Lda*, Jerónimo Martins e *Cerealis*) tal como é possível observar.

Quanto ao objectivo deste estudo observa-se que não existem massas frescas isentas de glúten disponíveis no mercado nacional para os consumidores celíacos e como tal o desenvolvimento destes produtos é uma possibilidade cada vez mais real e uma hipótese emergente no mercado.

PRODUÇÃO DE MASSAS ALIMENTÍCIAS ISENTAS DE GLÚTEN A PARTIR DE SUBPRODUTOS DA INDÚSTRIA ALIMENTAR

Quadro 8 – Massas alimentícias isentas de glúten disponíveis no mercado português, respectivos fornecedores, composição, preço, distribuidor e origem.

Fornecedor	Nome/Tipo	Composição	Preço (€/ 500g)	Distribuidor	Origem
D'Oves Farm Organic	Organic Spaghetti	100% Farinha de Arroz Integral Biológico	4,51 - 4,65	-	Itália
Bio Free	Esparguete e Fusilli de arroz	Farinha de arroz, lecitina de girassol, água	3,35 - 4,39	La Finestra sul cielo	Itália
Bio Free	Esparguete de milho e Fusilli	Farinha de milho, água, lecitina de girassol	3,49	-	Itália
BioFair	Rice Quinoa spaghetti e fusilli	Farinha de arroz (75%), farinha de quinoa (25%)	4,55	Dietimport	UK
BEIKER	Espaqueti sem glúten	Farinha de milho, Farinha de Arroz, mono e diglicéridos de ácidos gordos	2,75	Dietimport	Espanha
Dennree Spaghetti	Spaghetti original Italienische	Farinha de milho (80%), Farinha de Arroz (20%)	4,59	Eko Vivendi, Lda	Itália
Eskal	Authentic Rice Noodles Vermicelli	Arroz (90%), água (10%)	3,35	Dietimport	-
Garofalo	Garofalo Spaghetti	-	3,39	-	Itália
Glutano	Esparguete sem glúten	Farinha de milho, farinha de arroz, emulsionante: E471	4,15	Dietimport	Alemanha
Hammer Muhle	Hammer Muhle esparguete	Água e Farinha de milho	1,99	-	Alemanha
Sam Mills	Pasta d'oro	Farinha de milho e água	1,89	Jerónimo Martins	EUA
Shär	Massa Spaghetti sem glúten e Bontà d'Italia	Farinha de milho, farinha de milho míudo, farinha de arroz, xarope de cana-de-açúcar	3,4	Dietimport	Itália
Milanese	Esparguete sem glúten	Farinha de milho	1,94 - 2,19	Cerealis	Portugal

4.2. Caracterização física dos géis produzidos e utilizados na formulação das massas alimentícias

No desenvolvimento de massas alimentícias isentas de glúten, a partir de farinha de trinca de arroz carolino, torna-se essencial recorrer a um processo de gelatinização para permitir a obtenção de um produto com boas características texturais e sensoriais, tal como foi referido anteriormente no ponto 2.4.. Neste contexto, realizaram-se ensaios reológicos para determinar as características de gelificação dos géis e consequentemente delimitar a quantidade de farinha (40%(m/m), 50%(m/m) ou 60%(m/m)) a incorporar na sua formulação. Os resultados obtidos nos diversos testes oscilatórios de varrimento de temperatura encontram-se descritos neste ponto.

4.2.1. Efeito da concentração de farinha de arroz carolino nas características de gelificação - aquecimento

Na figura 17 representa-se a curva de aquecimento, que mostra o comportamento do módulo de armazenamento G' e do módulo dissipativo G'' em função da temperatura de aquecimento, de 3 misturas de água e farinha de arroz carolino com diferentes concentrações 40%, 50% e 60% a uma taxa de aquecimento de 0,5°C/min.

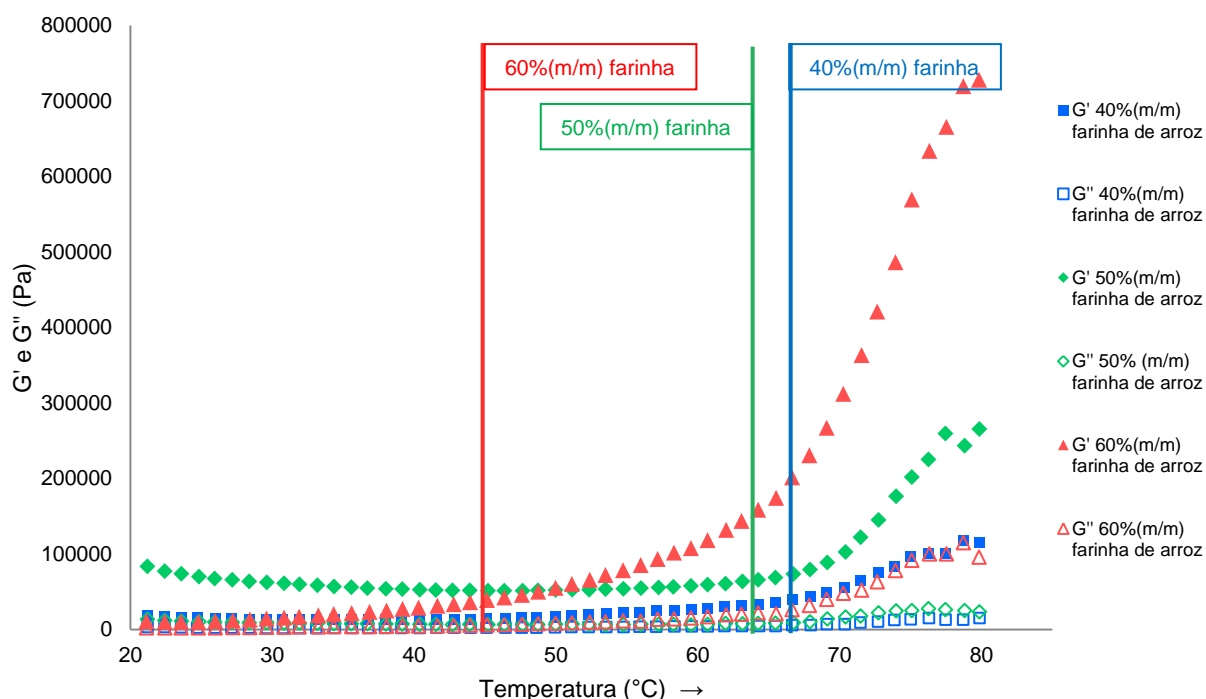


Figura 17 - Curva de aquecimento entre os 20 e os 80°C para géis com diferentes concentrações de farinha.

Através da observação da figura 17 verifica-se que à temperatura de 20°C o G' é superior ao G'' para todos os géis analisados e como tal não é possível determinar a temperatura de gelificação para nenhuma das amostras. Verifica-se também um aumento exponencial no G' e no G'' com o

aumento da temperatura para todas as amostras analisadas. Contudo, não é possível observar a que temperatura ocorre o pico de gelatinização. Resultados semelhantes foram relatados por Torres *et al* (2013) ao efectuar um estudo a diversos géis produzidos com diferentes quantidades e tipos de farinhas de arroz. No entanto, estes autores observaram que o pico de gelatinização dos géis cuja quantidade de farinha ronda os 40% ocorre a uma temperatura próxima de 95°C e que em géis com concentrações de farinha mais elevadas (60% e 50%) o pico de gelatinização é atingido a uma temperatura inferior.

Na figura 17, observa-se um aumento do G' e do G'' entre os 45°C e os 70°C para as diferentes suspensões devido ao início da gelatinização do amido presente nas amostras analisadas. Estudos realizados por Cham *et al* (2010), Zavareze *et al* (2010), Holder (2012), Moura (2012), Wani *et al* (2012) e Hasjim *et al* (2013) relataram que o aumento do G' nesta gama de temperaturas está relacionado com várias mudanças estruturais que ocorrem no amido nas diversas suspensões, tais como o inchamento dos grânulos, a fusão dos cristais ou até mesmo a lixiviação de alguns compostos.

Na suspensão com 60% de farinha de arroz carolino o aumento do G' ocorreu por volta dos 45°C, como é possível observar na figura 17, devido à elevada concentração de amido quando comparada com as restantes suspensões (40% e 50%). Cham e Suwannaporn (2010) observaram um comportamento semelhante durante o estudo da qualidade de *noodles* de arroz produzidos com farinhas modificadas através de diversos tratamentos térmicos.

Relativamente à suspensão de 50% o aumento do G' ocorreu por volta dos 65°C. No entanto, verifica-se um ligeiro aumento do G' a 20°C que se mantém constante ao longo do aquecimento até ocorrerem as primeiras alterações que conduzem à gelatinização. Este aumento inicial (20°C) do G' pode estar relacionado com uma ligeira hidratação dos grânulos de amido presentes na farinha quando expostos à temperatura ambiente, visto que segundo Vandeputte *et al* (2003), Silva *et al*, (2008) e Torres *et al* (2013) o amido tem a capacidade de absorver cerca de 30% do seu volume de água à temperatura ambiente sem sofrer qualquer tratamento térmico. No entanto, este comportamento é limitado até que se atinja uma temperatura crítica (temperatura de gelatinização), normalmente perto dos 70°C, dá-se um aumento da capacidade de inchamento dos grânulos presentes na farinha de arroz carolino acompanhada pelo aumento da solubilidade do amido, tal como é possível verificar na figura 17.

Quanto à suspensão de 40% de farinha de arroz, observa-se que o aumento do G' ocorre a uma temperatura de 70°C. Este aumento tardio pode estar relacionado com a diminuição da quantidade de amido na suspensão o que retarda o início da gelatinização.

Conclui-se, com base na figura 17, que a cada concentração de farinha utilizada na produção do gel corresponde uma temperatura de gelatinização diferente e que esta aumenta gradualmente com a diminuição da quantidade de farinha utilizada na preparação das suspensões. Neste caso concreto, quando as suspensões têm uma menor quantidade de amido e consequentemente de amilose, que é responsável pelas propriedades termofísicas do amido, a temperatura de gelatinização vai ser mais elevada. Estudos efectuados por Vandeputte *et al*, (2003), Chen *et al* (2007) e Wani *et al* (2012) obtiveram resultados semelhantes.

Outro factor que pode influenciar a temperatura de gelatinização das farinhas é a presença de outros componentes tais como proteínas e constituintes da parede celular, que afectam a transferência de calor durante a gelatinização (Hasjim *et al*, 2013).

4.2.2. Efeito da concentração de farinha de arroz carolino nas características de gelificação - arrefecimento

Na figura 18 é possível observar o comportamento do G' e do G'' durante o arrefecimento dos três géis com diferentes concentrações de farinha de arroz carolino (40%, 50% e 60%) a uma taxa de arrefecimento de 6°C/min.

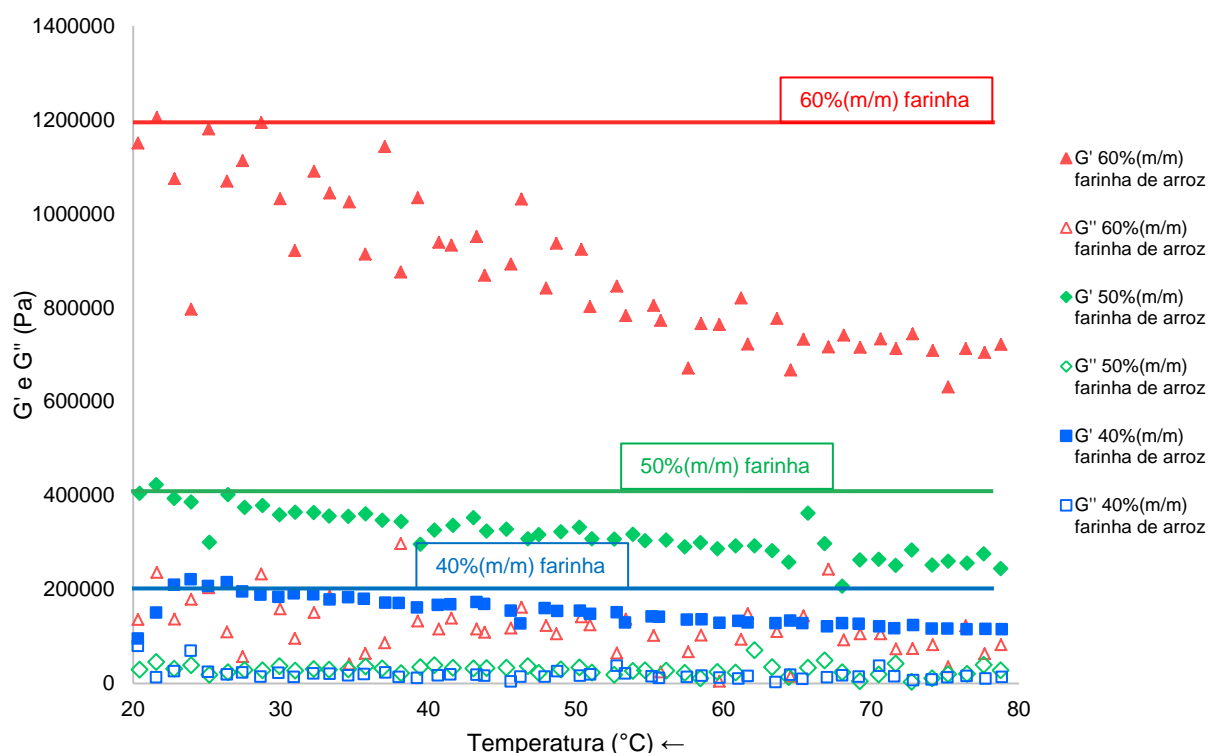


Figura 18 - Curva de arrefecimento entre os 80 e os 20°C para géis com diferentes concentrações de farinha.

No arrefecimento a estrutura do gel é reforçada com a redução da temperatura, o G' e o G'' aumentam progressivamente e atingem valores mais elevados devido à estruturação dos grânulos de amido e à diminuição da solubilidade.

Aos 20°C o G' fornece informações importantes sobre a estrutura final do gel e as possíveis aplicações consoante as suas características. Pela observação da figura 18, verifica-se que quando a temperatura atinge os 20°C o gel constituído por 40% de farinha de arroz carolino tem um G' de aproximadamente 190.000Pa, enquanto o gel com uma concentração de 50% apresenta um G' de cerca de 400.000Pa e o gel formado com 60% cerca de 1200.000Pa, estes valores permitem concluir que quanto maior a quantidade de amido presente no gel mais firme e sólida será a estrutura.

Neste caso, é possível verificar que o G' e o G'' são maiores para a amostra que contém 60% de farinha, uma vez que esta apresenta na sua constituição maior quantidade de amido

comparativamente com as restantes, daí originar um gel muito mais estruturado. No entanto, este não é indicado para a produção de massas alimentícias frescas isentas de glúten uma vez que apresenta uma estrutura demasiado firme.

O gel com 50%(m/m) de farinha apresenta um G' e G'' inferior à amostra de 60% dando origem a um gel de melhor estrutura para a produção de massas. No entanto, estudos realizados por Cham *et al* (2010) sobre o efeito de diversos tratamentos hidrotérmicos aplicados na farinha de arroz a incorporar na produção de *noodles*, determinaram que valores mais baixos de G' são mais indicados para o fabrico de massas frescas, enquanto valores mais elevados são preferíveis para a produção de massas secas ou semi secas. Como tal, conclui-se com base na observação da figura 18 que o gel produzido com 40% de farinha apresenta uma estrutura potencialmente mais adequada para o desenvolvimento de novas formulações de massas alimentícias frescas isentas de glúten.

4.2.3. Impacto do tempo de aquecimento nas características dos géis de farinha de arroz

Definida a concentração de farinha (40%) a utilizar no fabrico do gel para incorporar nas massas alimentícias isentas de glúten, torna-se imprescindível ajustar o binómio tempo/temperatura para a sua produção. Neste contexto foram realizados diversos testes oscilatórios de varrimento de temperatura (aquecimento) a diferentes taxas de aquecimento 0,5°C/min, 1°C/min e 2°C/min. Os resultados obtidos encontram-se representados na figura 19.

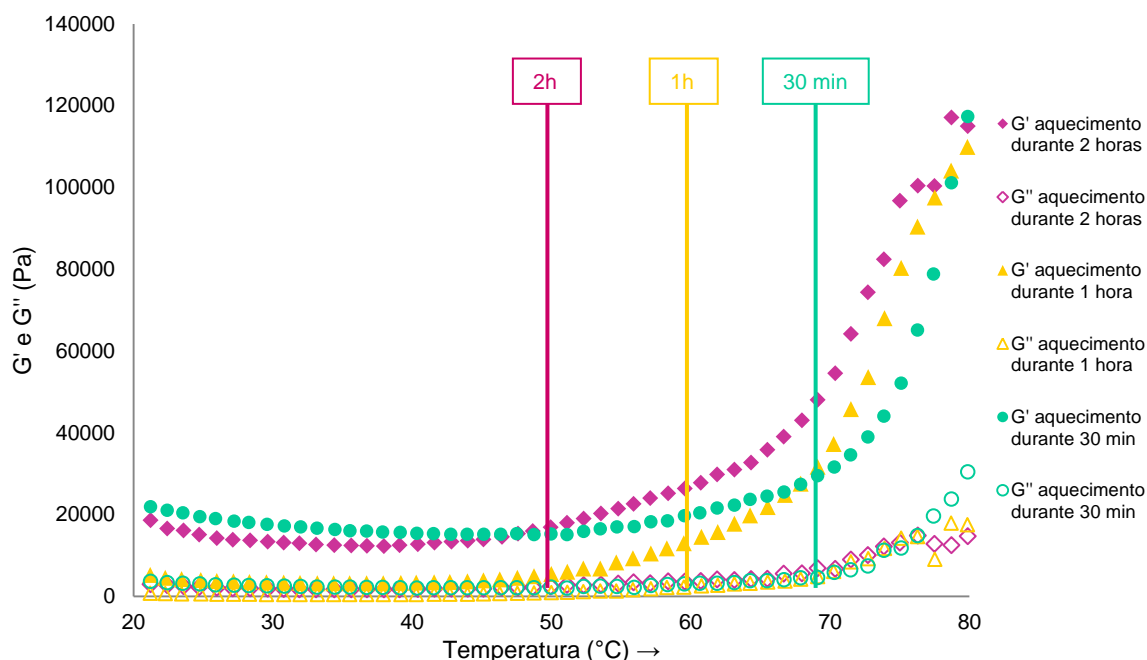


Figura 19 – Curva de aquecimento do gel com 40%(m/m) de farinha, entre os 20 e os 80°C durante diferentes tempos, 30 min, 1h e 2h.

Constata-se que o tempo tem um forte impacto sobre a temperatura de gelatinização da amostra. Nesta situação verifica-se que existe um comportamento distinto de acordo com a velocidade de aquecimento, sendo que a um aquecimento mais lento (2h) corresponde uma

temperatura de gelatinização menor, enquanto a um aquecimento mais rápido (30 min) corresponde uma temperatura de gelatinização mais elevada.

Pela observação da figura 19, conclui-se que para uma velocidade de aquecimento de 0,5°C/min o inchamento dos grânulos de amido dá-se entre os 45°C e os 55°C se a velocidade de aquecimento for de 1°C/min o inchamento dos grânulos de amido ocorre a uma temperatura superior, entre os 55°C e os 65°C. Por sua vez, quando a velocidade de aquecimento é maior (2°C/min) as alterações na estrutura do amido ocorrem entre os 65°C e os 75°C, tal como é possível observar na figura 19.

Após a obtenção destes resultados, determinou-se que para produzir um gel com as características desejadas no menor tempo possível (30 minutos) é essencial utilizar uma temperatura de gelatinização mais elevada. Tendo em conta que para uma velocidade de gelatinização de 2°C/min o inchamento dos grânulos de amido dá-se entre os 65-75°C definiu-se uma temperatura de gelatinização de 95°C±2°C de forma a garantir a total gelatinização do amido presente nas suspensões. Resultados semelhantes foram obtidos em ensaios realizados por Vandeputte *et al*, (2003a), Wani *et al* (2012) e Torres *et al* (2013).

4.3. Avaliação da textura dos géis

O estudo da textura dos géis é uma etapa fundamental para o posterior desenvolvimento das massas alimentícias frescas isentas de glúten.

Os géis foram produzidos de acordo com as conclusões obtidas anteriormente, no entanto numa tentativa de otimizar este processo utilizaram-se vários tempos de gelatinização que variaram entre 20 e 40 minutos, mantendo constantes os restantes factores. A escolha do tempo óptimo de produção dos géis foi realizada com base na avaliação da firmeza (N) e adesividade (N.s) dos mesmos sob diferentes condições de processamento (20, 30 e 40 min).

Os resultados obtidos para o parâmetro da firmeza encontram-se representados na figura 20.

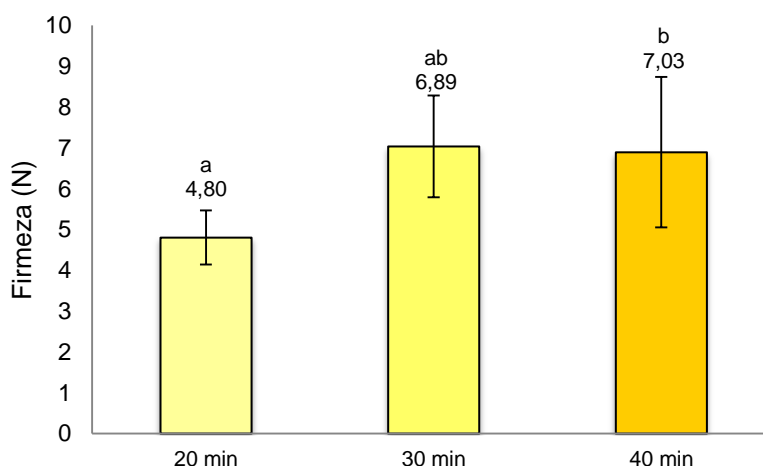


Figura 20 – Firmeza (N) dos géis produzidos a partir de farinha de trinca de arroz carolino (40%(m/m)) a 95°C durante 20, 30 e 40 minutos.

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Verifica-se um aumento significativo na firmeza ($p < 0,05$) dos géis com o aumento do tempo de gelatinização. No entanto, entre os 30 e os 40 minutos estas diferenças não são significativas ($p > 0,05$). Tal facto indica que a partir dos 30 minutos os géis apresentam uma estrutura estável resultante da completa gelatinização do amido nas suspensões.

Cham *et al* (2010) mencionou que a firmeza dos géis aumenta sempre que ocorrem alterações estruturais no amido e que esta mantém-se inalterada quando é finalizada a gelatinização. No seguimento da afirmação anterior conclui-se que aos 20 minutos a gelatinização do amido não está completa e como tal este apresenta uma firmeza significativamente inferior ($p < 0,05$) à verificada nas amostras de 30 e 40 minutos.

Quanto à adesividade dos géis, os valores obtidos encontram-se descritos na figura 21. Neste caso, observa-se que não existem diferenças significativas ($p > 0,05$) na adesividade dos três géis independentemente do tempo em que ocorreu a gelatinização.

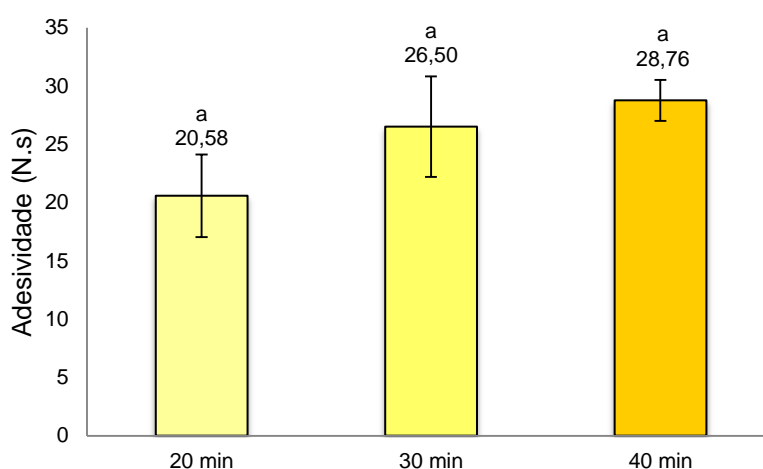


Figura 21 - Adesividade (N.s) dos géis produzidos a partir de farinha de trinca de arroz carolino (40%(m/m)) a 95°C durante 20, 30 e 40 minutos.

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Tendo como base os valores da firmeza e adesividade obtidos a partir do TPA para os diferentes géis, conclui-se que existem diferenças significativas ($p < 0,05$) na estrutura do gel produzido durante 20 minutos quando comparado com os restantes. No entanto, entre os géis produzidos durante 30 e 40 minutos as diferenças não são significativas ($p > 0,05$) e como tal optou-se pelo tempo que melhor optimiza o processo, neste caso os 30 minutos. Resultados semelhantes foram obtidos por Wani *et al*, (2012) durante o estudo da gelatinização de amido de arroz.

4.4. Efeito da concentração do gel nas características de textura das massas alimentícias

A concentração de gel utilizado na produção das massas alimentícias frescas isentas de glúten tem uma grande influência nas características de textura das mesmas, tal como é possível observar na figura 22 onde estão representadas três amostras produzidas com diferentes concentrações de gel de farinha de arroz carolino e de farinha de arroz carolino.

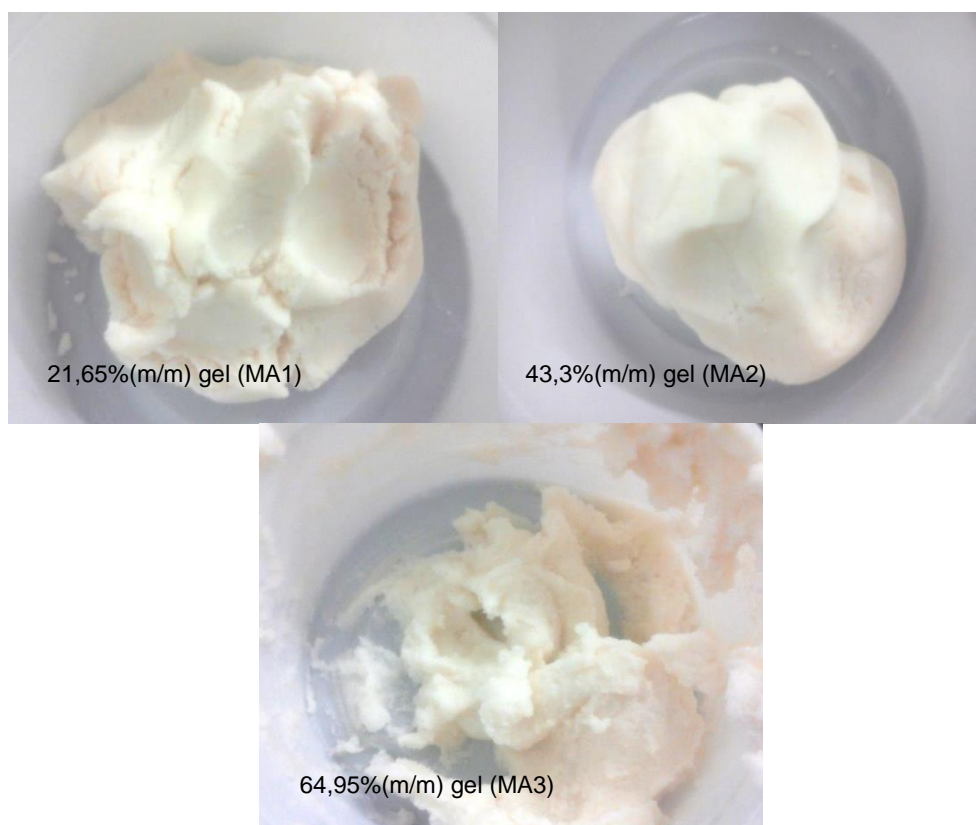


Figura 22 – Amostras de massas alimentícias frescas isentas de glúten (MA1, MA2 e MA3) com diferentes concentrações de gel.

Pela observação da figura 22, destaca-se que a amostra com 43,3% de gel apresenta uma consistência mais agradável comparativamente às restantes. No entanto, é necessário recorrer a testes que nos permitam avaliar a firmeza (N) e adesividade (N.s) destas amostras e consequentemente definir a quantidade óptima de gel a incorporar nas restantes formulações.

4.4.1. Teste TPA

Relativamente às massas alimentícias frescas isentas de glúten produzidas a partir de gel e de farinha de arroz carolino a textura foi avaliada com um teste TPA. Os valores obtidos para a firmeza encontram-se representados na figura 23.

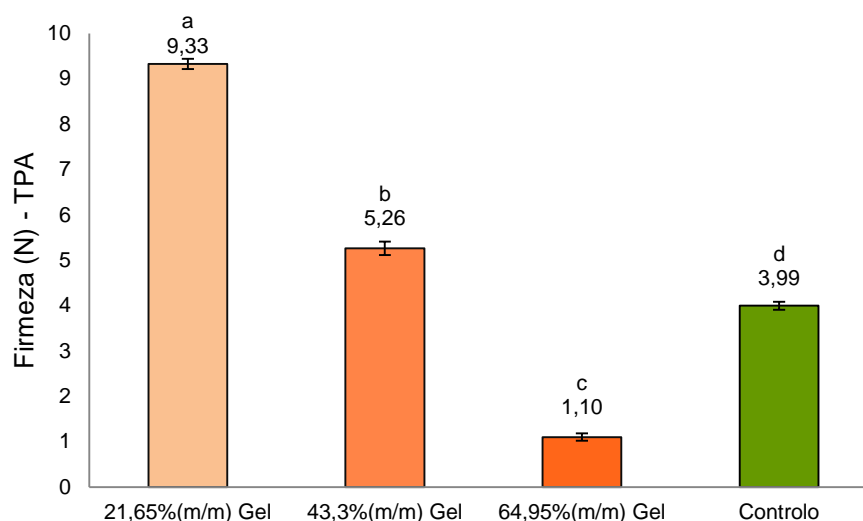


Figura 23 - Firmeza (N) das massas alimentícias com diferentes concentrações de gel de arroz (40%(m/m)) em comparação com a massa de trigo controlo (MTC).

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Verifica-se que existem diferenças significativas ($p < 0,05$) na firmeza de todas as amostras. Na formulação com uma concentração de gel de 64,95% os valores da firmeza são muito reduzidos enquanto na formulação com uma concentração de 21,65% de gel a firmeza é superior à observada nas restantes amostras. Resultados semelhantes foram descritos por Marti *et al*, (2010). Desta forma, conclui-se que quanto maior a quantidade de gel adicionada à formulação, menor será a firmeza das massas devido ao aumento da viscosidade. Contrariamente, os valores de firmeza mais elevados estão relacionados com outros factores como as características do gel, a quantidade de gel que foi incorporada na formulação ou mesmo com a retenção de água que contribui para o aumento da firmeza (Fiorda *et al*, 2013).

Embora sejam verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) para todas as formulações, observa-se que a massa com 43,3% de gel apresenta um valor de firmeza mais próximo da massa de trigo controlo.

Relativamente à adesividade os valores encontram-se representados na figura 24. Nesta situação, observa-se que o controlo apresenta uma adesividade significativamente menor ($p > 0,05$) comparativamente com as massas produzidas à base de farinha de arroz carolino. Tal facto foi referido anteriormente, visto que o arroz apresenta uma elevada adesividade quando comparado com o trigo.

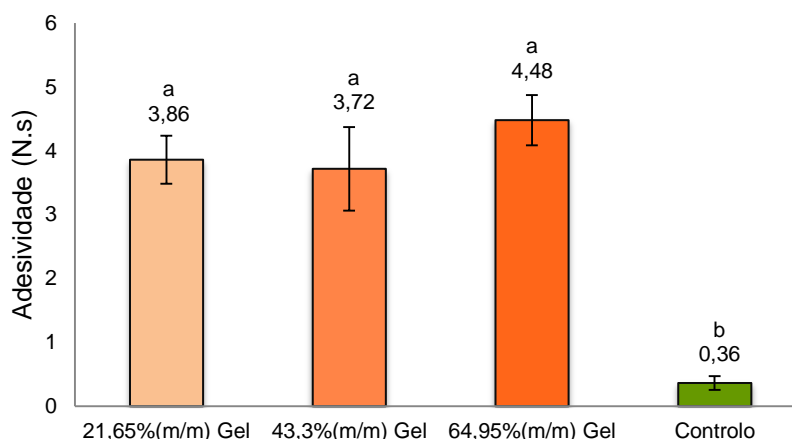


Figura 24 - Adesividade (N.s) das massas com diferentes concentrações de gel de arroz (40%(m/m) de farinha de arroz) em comparação com as massas de trigo controlo (MTC).

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Quanto às amostras com 21,65%, 43,3% e 64,95% de gel, não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) quanto à adesividade. No entanto, observa-se um ligeiro aumento na adesividade da amostra que apresenta mais gel na sua constituição (64,95%) comparativamente com as restantes. Resultados semelhantes foram obtidos por Nabeshima (2007).

4.4.2. Teste de compressão

Na figura 25 encontram-se descritos os resultados obtidos para a firmeza através do teste de compressão. A diferença nos resultados está associada aos princípios subjacentes a cada teste (Zhu *et al*, 2010). No entanto, as conclusões obtidas são idênticas. Verifica-se assim que ambos os métodos são eficazes para a avaliação da textura das massas.

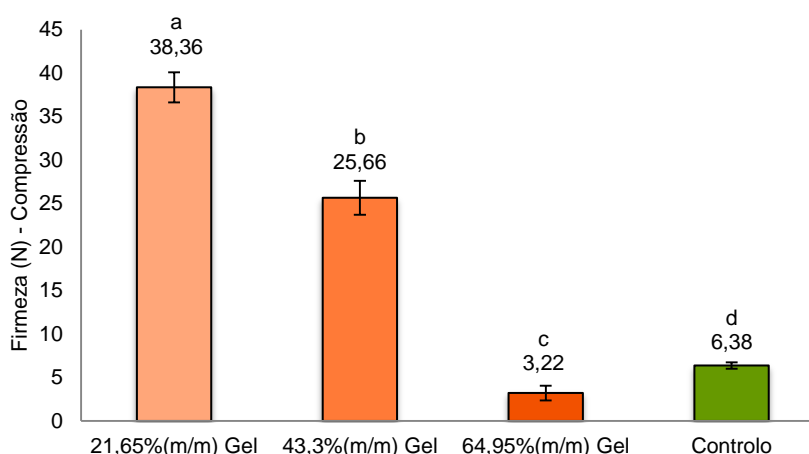


Figura 25 - Firmeza (N) das massas com diferentes concentrações de gel de arroz (40%(m/m) de farinha de arroz) em comparação com a massa de trigo controlo (MTC).

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Neste caso, tal como no TPA, verifica-se que embora com princípios diferentes os resultados dos dois testes estão em consonância, visto que tal como anteriormente verificam-se diferenças significativas ($p < 0,05$) para as quatro formulações.

Com base nos resultados obtidos, fixou-se a quantidade óptima de gel a incorporar na produção das restantes massas alimentícias frescas nos 43,3%.

4.5. Características de textura das massas alimentícias – optimização das formulações

Após escolhida a proporção de gel a incorporar na massa, 43,3%, foram realizadas diversas formulações como descrito no ponto 3.2.3. Nestas formulações foi testada a substituição parcial da farinha de trinca de arroz carolino por farinha de milho e por farelo de arroz carolino estabilizado.

Na figura 26 é possível observar as várias formulações onde foi incorporada a farinha de milho em substituição parcial ou total da farinha de arroz carolino.

Verifica-se um aumento da cor amarelada das massas, proporcional ao aumento da quantidade de farinha de milho incorporada, devido à presença de pigmentos como a criptoxantina e a zeaxantina. No entanto visualmente não são observadas diferenças na textura (firmeza e adesividade) das amostras.

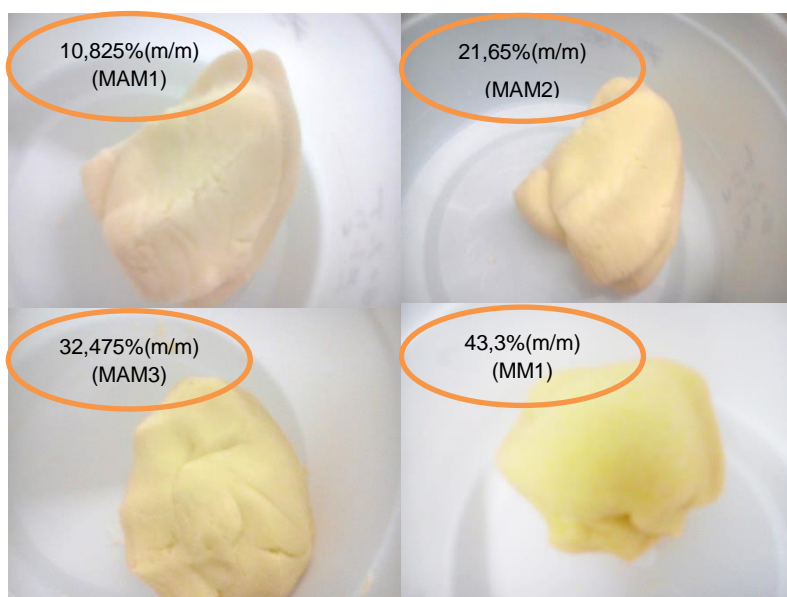


Figura 26 – Massas alimentícias frescas isentas de glúten com incorporação de diferentes quantidades de farinha de milho (10,825%(m/m), 21,65%(m/m), 32,475%(m/m) e 43,3%(m/m)).

Os resultados obtidos para a firmeza das amostras encontram-se representados na figura 27.

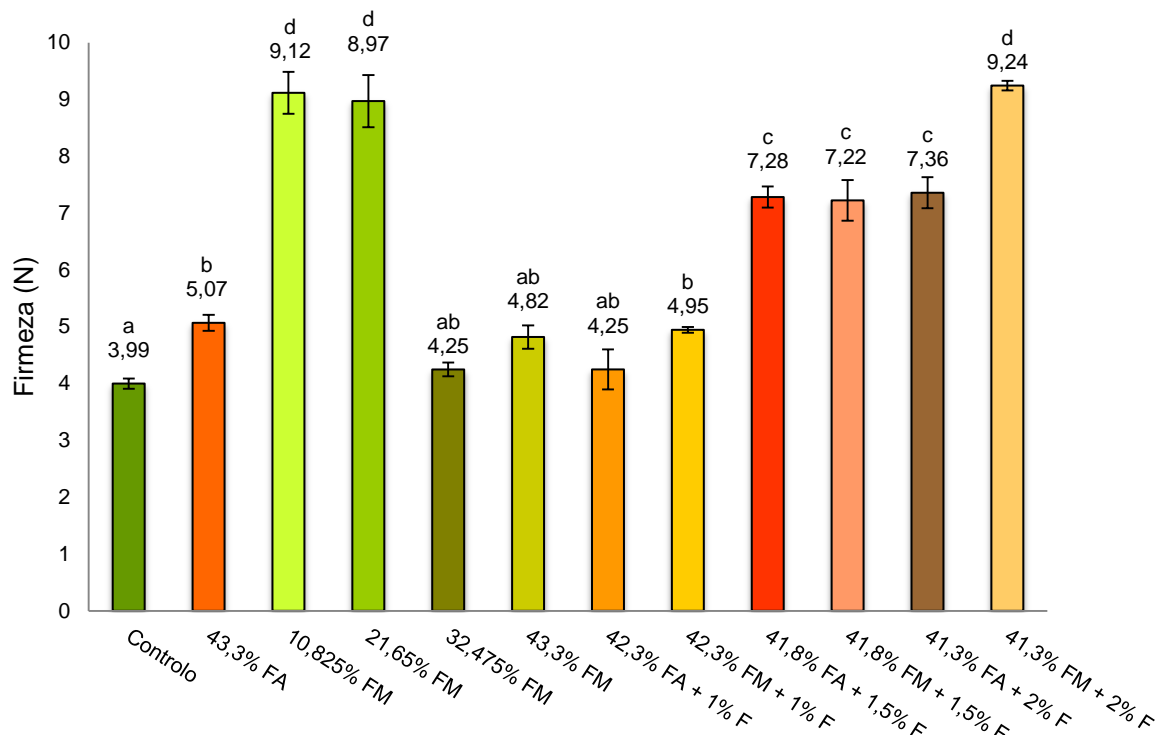


Figura 27 – Firmeza (N) das massas alimentícias frescas isentas de glúten com diferentes formulações em comparação com a massa de trigo controlo.

*FA – Farinha de Arroz; FM- Farinha de Milho; F - Farelo

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Verifica-se que o controlo não difere significativamente ($p > 0,05$) das formulações com maiores quantidades de farinha de milho (32,474% e 43,3%) e da formulação com 42,3% de farinha de arroz e 1% de farelo.

Observou-se que a adição de maiores quantidades de farinha de milho (32,475% e 43,3%) melhorou a firmeza das massas obtendo-se valores próximos da massa de trigo controlo, enquanto quantidades mais pequenas (10,825% e 21,65%) aumentaram a firmeza das massas comparativamente com o controlo.

A adição de farelo às formulações com 43,3% de farinha de arroz e com 43,3% de farinha de milho, aumentou significativamente ($p < 0,05$) os valores da firmeza a partir de uma certa concentração ($\geq 1,5\%$). Fiorda *et al* (2013) relatou que a presença de fibra em algumas formulações é responsável pelo aumento da firmeza das massas alimentícias.

Por sua vez, a adição de 1% de farelo de arroz estabilizado não alterou significativamente ($p > 0,05$) a firmeza das massas quando comparadas com as formulações originais (43,3% farinha de arroz e 43,3% farinha de milho).

Fernandes *et al* (2013) obtiveram valores de firmeza semelhantes aos obtidos no presente estudo durante a caracterização de massas alimentícias produzidas a partir de farinha de arroz pré-gelatinizada e albumina de ovo modificada.

Verifica-se que as formulações com valores de firmeza mais elevados (>5,07N) não são indicadas para o desenvolvimento do produto em questão, uma vez que não permitem desenvolver uma massa com as características texturais pretendidas.

Na figura 28 encontram-se os resultados obtidos para a adesividade das massas alimentícias frescas isentas de glúten em comparação com a massa de trigo controlo.

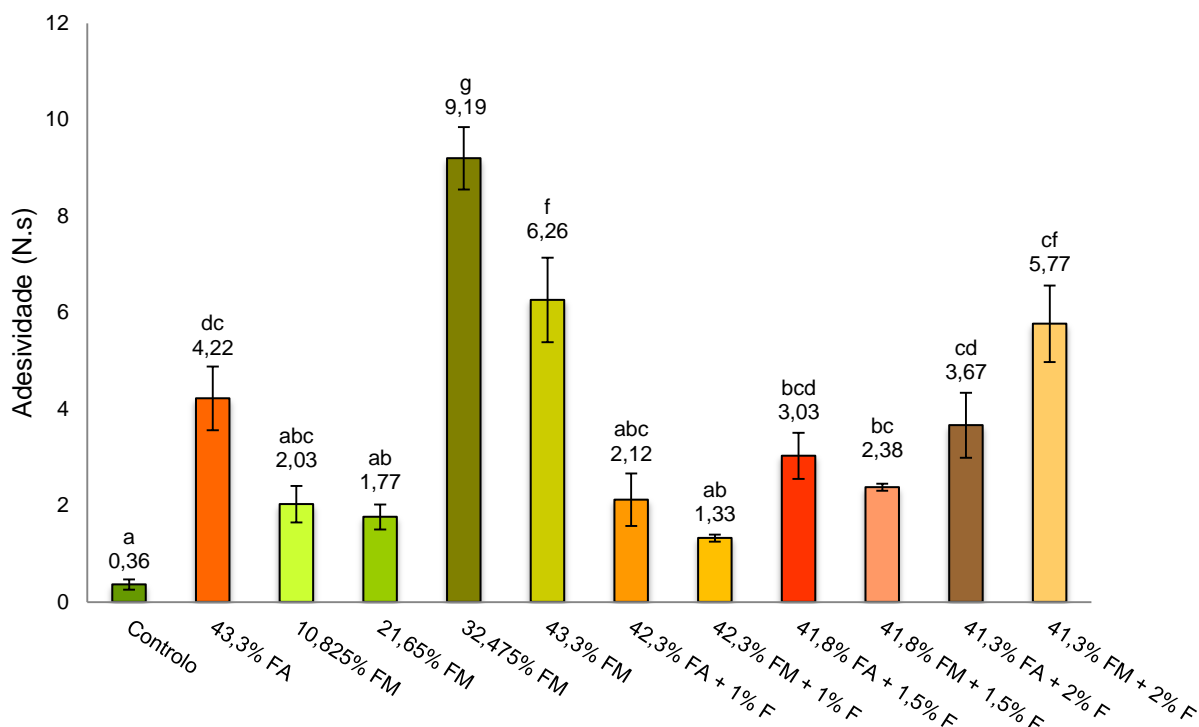


Figura 28 - Adesividade (N.s) das massas alimentícias frescas isentas de glúten com diferentes formulações em comparação com a massa de trigo controlo.

*FA – Farinha de Arroz; FM- Farinha de Milho; F - Farelo

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Pela observação da figura verifica-se que o controlo apresenta uma adesividade bastante inferior à verificada nas restantes formulações, no entanto, a adesividade da amostra controlo não apresenta diferenças significativas ($p > 0,05$) quando comparada com as formulações com uma concentração mais baixa de farinha de milho (10,825% e 21,65%) e com as formulações com 42,3% de farinha de arroz e 1% de farelo e com 42,3% de farinha de milho e 1% de farelo.

A adição de 1% de farelo diminuiu a adesividade das massas onde foi incorporado quando comparadas com as formulações base (43,3% de farinha de arroz e 43,3% de farinha de milho), contudo quando se aumenta a quantidade de farelo para concentrações maiores ($\geq 1,5\%$) a adesividade das formulações também aumenta significativamente ($p < 0,05$). Desta forma conclui-se que a adição de farelo em quantidades reduzidas diminui a adesividade das massas e aproxima os valores aos observados para a massa de trigo controlo.

Com base nos resultados obtidos conclui-se que algumas das formulações estudadas apresentam potencial, visto que permitem desenvolver massas alimentícias frescas com boas

características texturais e aptas para consumo. Entre elas, destacam-se as formulações com 43,3% de farinha de arroz e com 42,3% de farinha de arroz e 1% de farelo e as formulações com 43,3% de farinha de milho e com 42,3% de farinha de milho e 1% de farelo.

4.6. Caracterização das massas alimentícias isentas de glúten

4.6.1. Humidade

No quadro 9 é possível observar os valores do teor de humidade para as amostras em estudo.

Quadro 9 - Humidade das massas alimentícias frescas isentas de glúten em comparação com o controlo.

Código da amostra	Humidade %
Controlo	35,63±0,18 ^a
43,3% FA	41,79±0,28 ^b
43,3% FM	42,99±0,34 ^b
42,3% FA + 1% F	46,53±0,59 ^c
42,3% FM + 1% F	45,86±1,82 ^c

*FA – Farinha de Arroz; FM – Farinha de Milho; F - Farelo

* Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Salienta-se que todas as massas apresentam um teor de humidade relativamente elevado (>35%), uma vez que se trata de um produto fresco. No entanto, as formulações que apresentam farelo na sua constituição apresentam um teor de humidade significativamente superior ($p < 0,05$) ao verificado nas formulações sem farelo.

Contudo, todas as massas alimentícias isentas de glúten apresentam um teor de humidade significativamente superior ($p < 0,05$) comparativamente com a massa de trigo controlo.

Estes dados estão de acordo com estudos realizados anteriormente por Marti *et al* (2010) que verificou que a percentagem de humidade nas massas frescas feitas a partir de farinha de arroz e de amido de arroz gelatinizado apresentam normalmente teores de humidade superiores a 40%, enquanto nas massas frescas feitas a partir de farinha de trigo o teor de humidade ronda os 30%.

No entanto, a produção de massas frescas com um teor de humidade superior a 30% não é viável ao nível industrial uma vez que dificulta a sua conservação (Ormenese *et al*, 2002).

Conclui-se que para comercializar este produto é necessário efectuar uma pré-secagem de modo a diminuir o teor de humidade das massas alimentícias frescas isentas de glúten.

4.6.2. Avaliação da Cor

A cor é uma das principais características sensoriais apreciadas pelos consumidores, como tal, a sua importância não deve ser subestimada. Tal facto levou à análise dos parâmetros da cor C*,

h^* e ΔE^* para as massas alimentícias estudadas. Os resultados obtidos encontram-se descritos neste ponto.

Na figura 29 encontram-se representados os valores obtidos para a saturação da cor das massas comerciais obtidos através da equação 2 descrita no ponto 2.7..

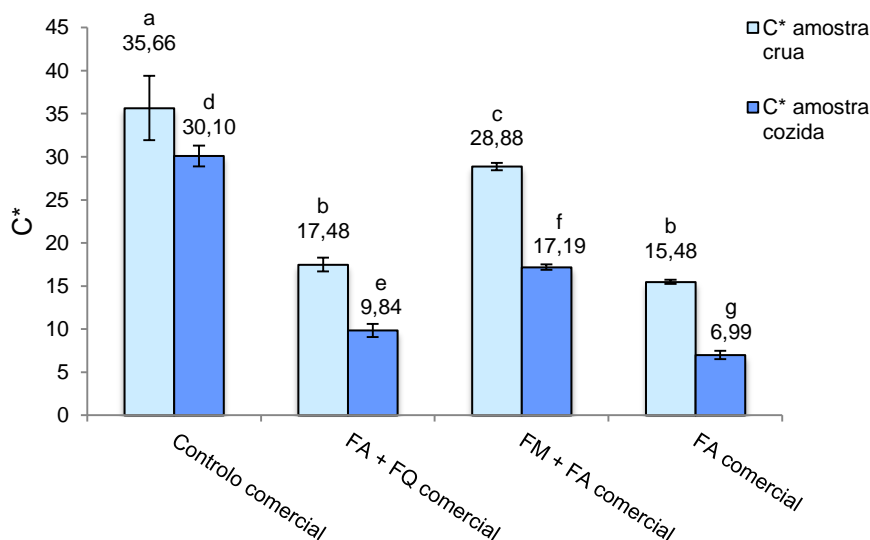


Figura 29 - Saturação da cor das massas alimentícias comerciais, cruas e cozidas.

*FA – Farinha de Arroz; FQ – Farinha de Quinoa; FM- Farinha de Milho;

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Verifica-se que a saturação da cor entre a amostra de farinha de arroz e farinha de quinoa comercial crua e a amostra de farinha de arroz comercial crua não diferem significativamente ($p > 0,05$) entre si. No entanto, após a cozedura das massas observam-se diferenças significativas ($p < 0,05$) na saturação entre todas as amostras analisadas na figura.

Pela observação da figura 29 também é possível constatar que a saturação da cor das massas alimentícias comerciais diminui significativamente ($p < 0,05$) após a cozedura.

Na figura 30 representa-se a saturação da cor das massas alimentícias frescas isentas de glúten, antes e após a cozedura.

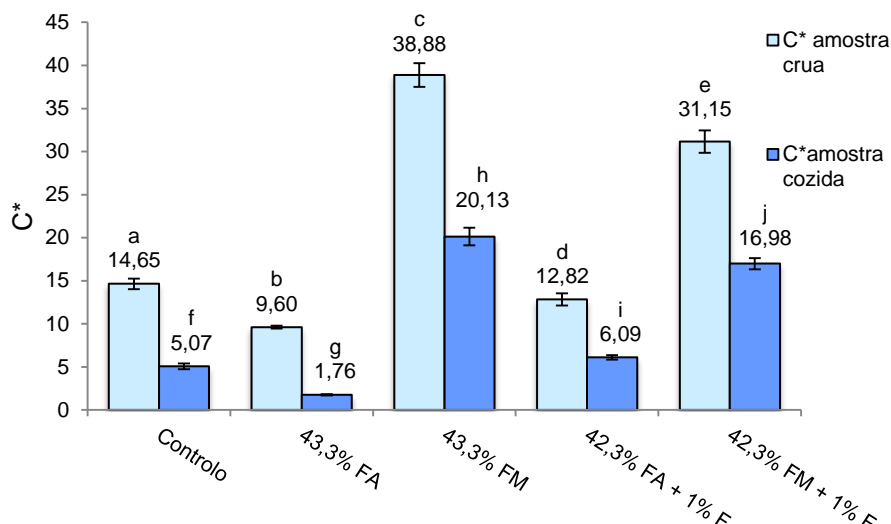


Figura 30 - Saturação da cor das massas alimentícias frescas isentas de glúten, cruas e cozidas, em comparação com a massa controlo.

*FA – Farinha de Arroz; FM- Farinha de Milho; F - Farelo

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Neste caso, conclui-se que há uma diminuição significativa ($p < 0,05$) na saturação das amostras após a cozedura, tal como ocorreu anteriormente. Também é possível verificar diferenças significativas ($p < 0,05$) entre todas as amostras antes e após a cozedura.

Observa-se que a adição de farelo à massa com farinha de arroz aumentou significativamente ($p < 0,05$) a saturação da cor da amostra.

Por sua vez, quando se adiciona farelo à formulação que contém farinha de milho verifica-se uma diminuição significativa ($p < 0,05$) na saturação antes e após a cozedura.

Pela observação da figura 31 é possível comparar a saturação das massas comerciais com as massas alimentícias frescas.

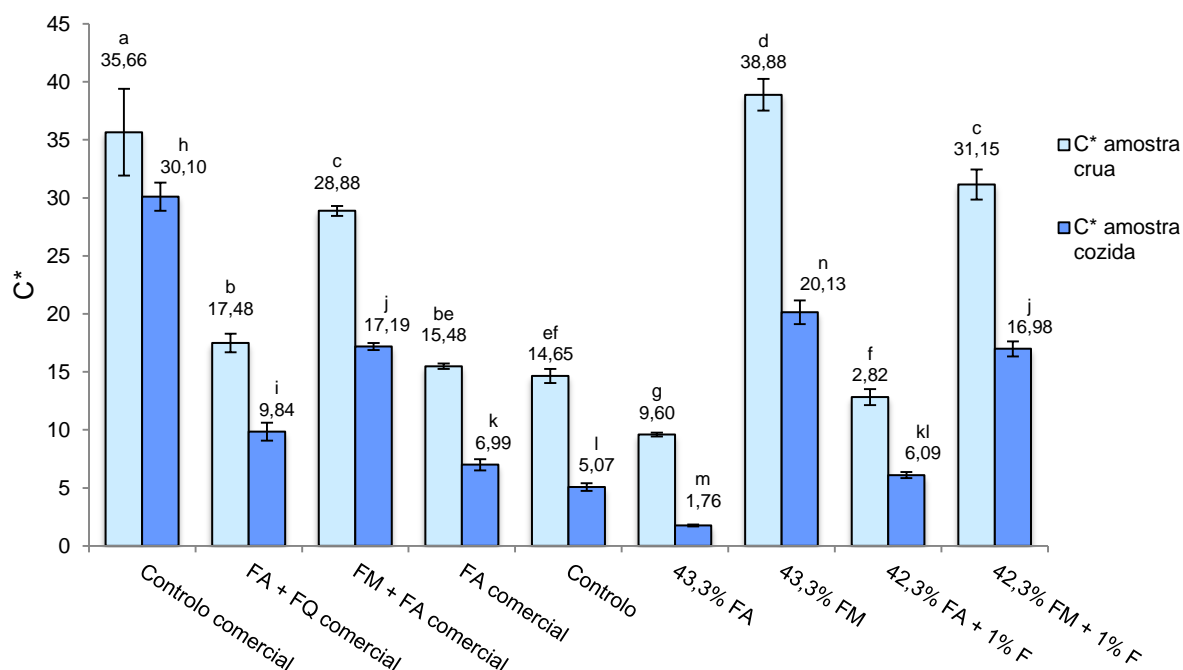


Figura 31 - Saturação da cor de todas as massas alimentícias analisadas, cruas e cozidas.

*FA – Farinha de Arroz; FQ – Farinha de Quinoa; FM- Farinha de Milho; F - Farelo

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Observa-se que a saturação da cor da amostra controlo crua não difere significativamente ($p > 0,05$) da amostra com 42,3% de farinha de arroz e 1% de farelo crua. No entanto, quando cozidas, verifica-se que existem diferenças significativas ($p < 0,05$) entre várias amostras, com excepção da amostra com 42,3% de farinha de arroz e 1% de farelo, da amostra controlo e da amostra de farinha de arroz comercial que não diferem significativamente ($p > 0,05$) entre si relativamente à saturação da cor. Mariotti *et al* (2011) obteve resultados semelhantes aos observados neste estudo.

Para a totalidade das amostras verifica-se que existem algumas semelhanças entre as massas alimentícias comerciais e as massas alimenticias frescas antes e após a cozedura das mesmas.

A tonalidade das massas comerciais isentas de glúten antes e após a cozedura encontra-se expressa na figura 32.

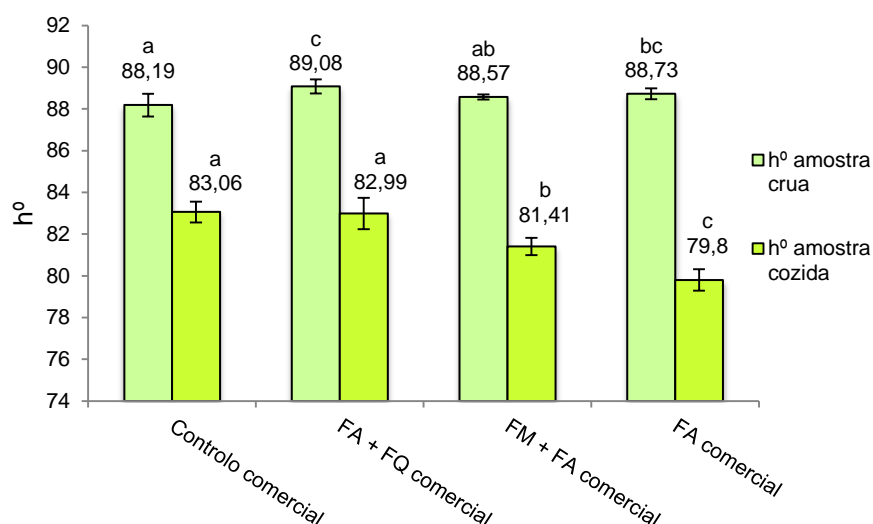


Figura 32 – Tonalidade (h°) das massas alimentícias comerciais, cruas e cozidas.

*FA – Farinha de Arroz; FQ – Farinha de Quinoa; FM- Farinha de Milho

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Pela observação da figura 32, verifica-se que as massas comerciais apresentam uma tonalidade próxima do amarelo, uma vez que tomam valores compreendidos entre 79,8° e 89,09°.

Neste caso observa-se uma diminuição da tonalidade nas massas após a cozedura. Esta alteração está associada com a perda de cor resultante do processo de cozedura.

Relativamente a este parâmetro observa-se que a massa controlo comercial não difere significativamente ($p > 0,05$) da massa com farinha de arroz e farinha de quinoa após cozida, no entanto quando crua assemelha-se à amostra com farinha de milho e farinha de arroz.

Na figura 33 encontram-se expressos os resultados obtidos para a tonalidade das massas alimenticias frescas cruas e cozidas.

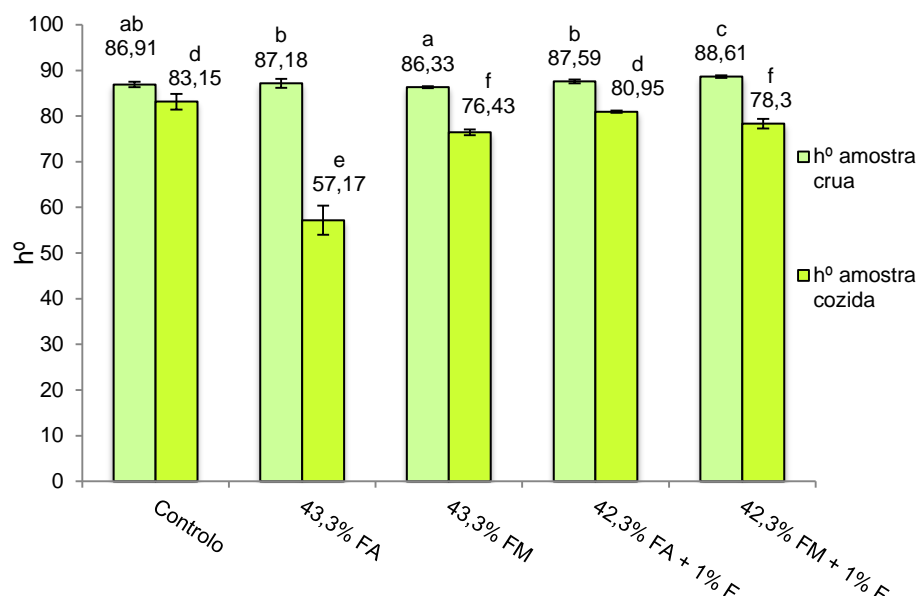


Figura 33 – Tonalidade (h°) das massas alimentícias frescas isentas de glúten, cruas e cozidas, comparativamente com a massa controlo.

*FA – Farinha de Arroz; FM- Farinha de Milho; F - Farelo

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

A tonalidade das amostras cruas encontra-se entre os 86,33° e os 88,610°. Verificam-se diferenças significativas ($p < 0,05$) na tonalidade da amostra com 42,3% de farinha de milho e 1%(m/m) de farelo crua quando comparativamente com as restantes.

Por sua vez, após a cozedura é verificada uma diminuição significativa ($p < 0,05$) na tonalidade das amostras comparativamente com as massas cruas. A amostra com 43,3% de farinha de arroz apresenta uma tonalidade muito inferior ($p < 0,05$) à verificada para as restantes amostras após a cozedura.

Na figura 34 é possível observar os valores obtidos para a tonalidade da totalidade das amostras analisadas.

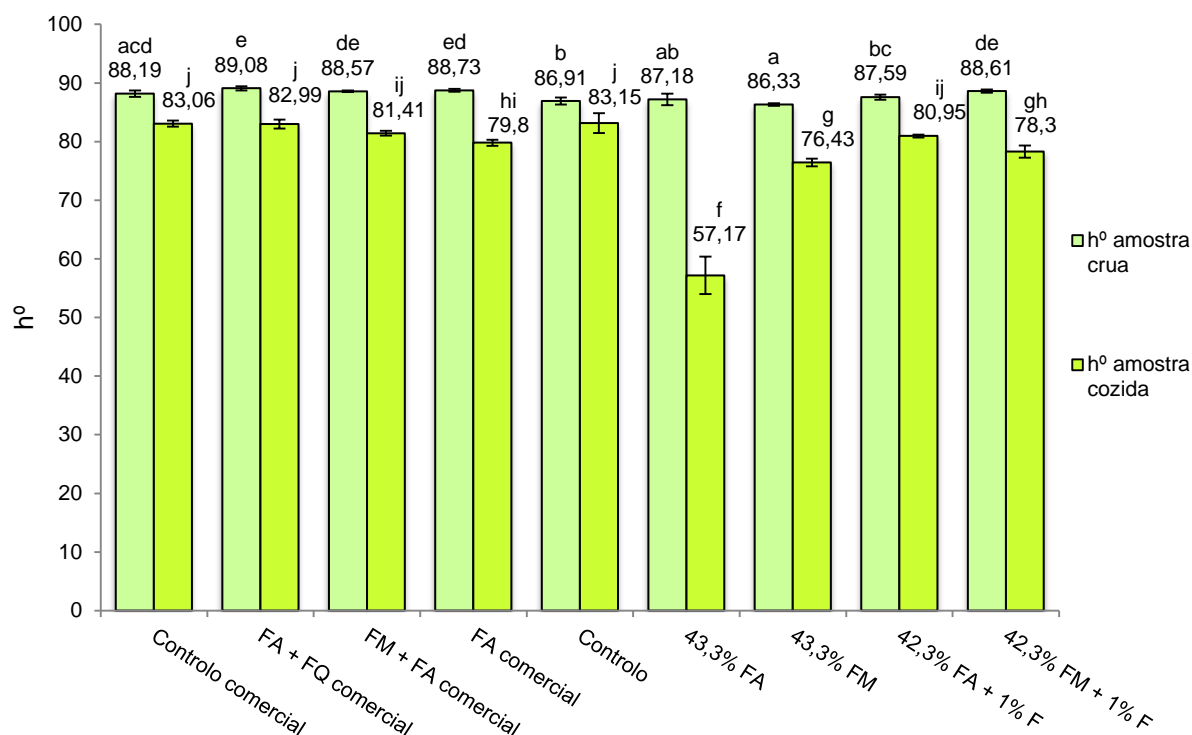


Figura 34 – Tonalidade (h°) de todas as massas alimentícias analisadas, cruas e cozidas.

*FA – Farinha de Arroz; FQ – Farinha de Quinoa; FM- Farinha de Milho; F - Farelo

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Observa-se um comportamento semelhante entre todas as amostras analisadas à excepção da formulação que contém 43,3% de farinha de arroz após cozedura, que tal como foi referido anteriormente apresenta um valor significativamente inferior ($p < 0,05$) às restantes.

Na figura 35 estão representados os valores do ΔE^* para as várias amostras comerciais analisadas. Neste caso, o ΔE^* foi utilizado para avaliar o impacto da cozedura sobre o parâmetro da cor das massas alimentícias.

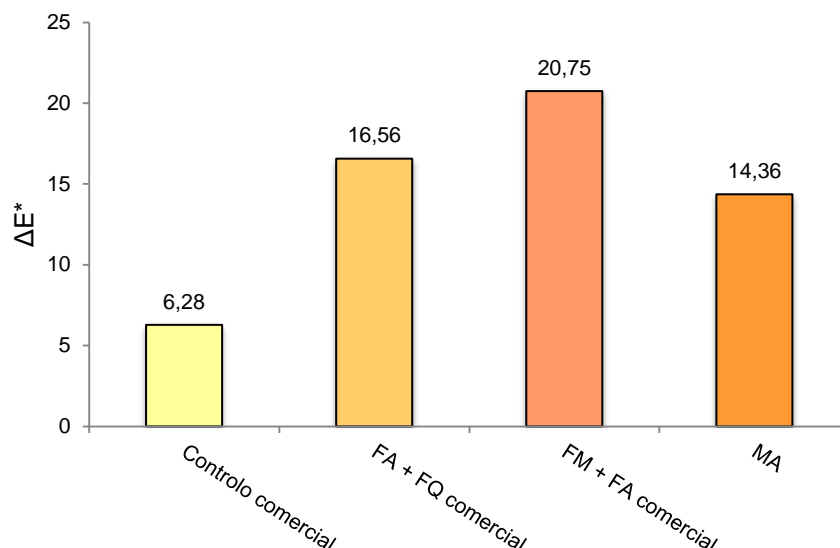


Figura 35 – Diferença de cor entre as amostras de massas alimentícias comerciais, cruas e cozidas.

*FA – Farinha de Arroz; FQ – Farinha de Quinoa; FM- Farinha de Milho;

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Com base na observação da figura 35, é possível concluir que a amostra controlo comercial apresenta diferenças de cor perceptíveis antes e após a cozedura, enquanto nos restantes casos as alterações são consideradas extremas (>12).

A amostra comercial cuja formulação é composta por farinha de milho e farinha de arroz apresenta a maior variação de cor, comparativamente com as restantes amostras. Este facto pode estar relacionado com os diferentes tempos de cozedura utilizados na produção das massas, visto que quanto mais longo o tempo de cozedura, maior a degradação da cor. Resultados semelhantes foram relatados por Fradique (2008).

Na figura 36 estão representados os resultados obtidos para a diferença de cor ΔE^* nas amostras de massas alimentícias frescas isentas de glúten.

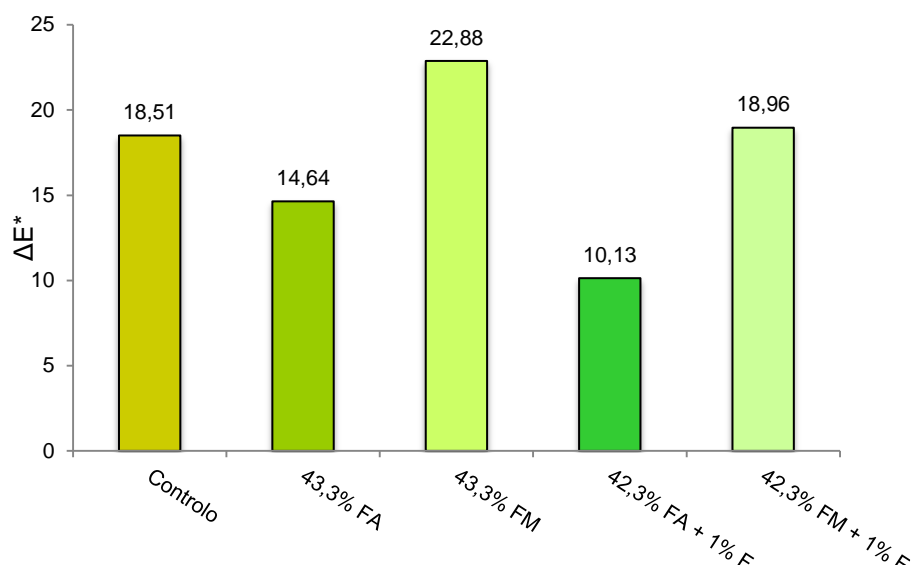


Figura 36 –Diferença de cor entre as amostras de massas alimentícias frescas isentas de glúten e a massa controlo, cruas e cozidas.

*FA – Farinha de Arroz; FM- Farinha de Milho; F - Farelo

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Verifica-se que existem diferenças acentuadas na cor da massa com 42,3% de farinha de arroz e 1% de farelo (6,0-12,0), enquanto nas restantes amostras estas diferenças são extremas (>12).

A amostra cuja formulação contém 43,3% de farinha de milho apresenta uma alteração de cor bastante superior à verificada para as restantes massas.

Observa-se que a incorporação de farelo nas formulações diminuiu as diferenças de cor entre as amostras comparativamente com as formulações iniciais.

Relativamente ao controlo, observa-se que a perda de cor foi elevada após a cozedura e que esta apresenta valores mais próximos da amostra com 42,3% de farinha de milho e 1% de farelo.

Por sua vez, na figura 37 é possível observar a diferença de cor para a totalidade das amostras antes e após a cozedura.

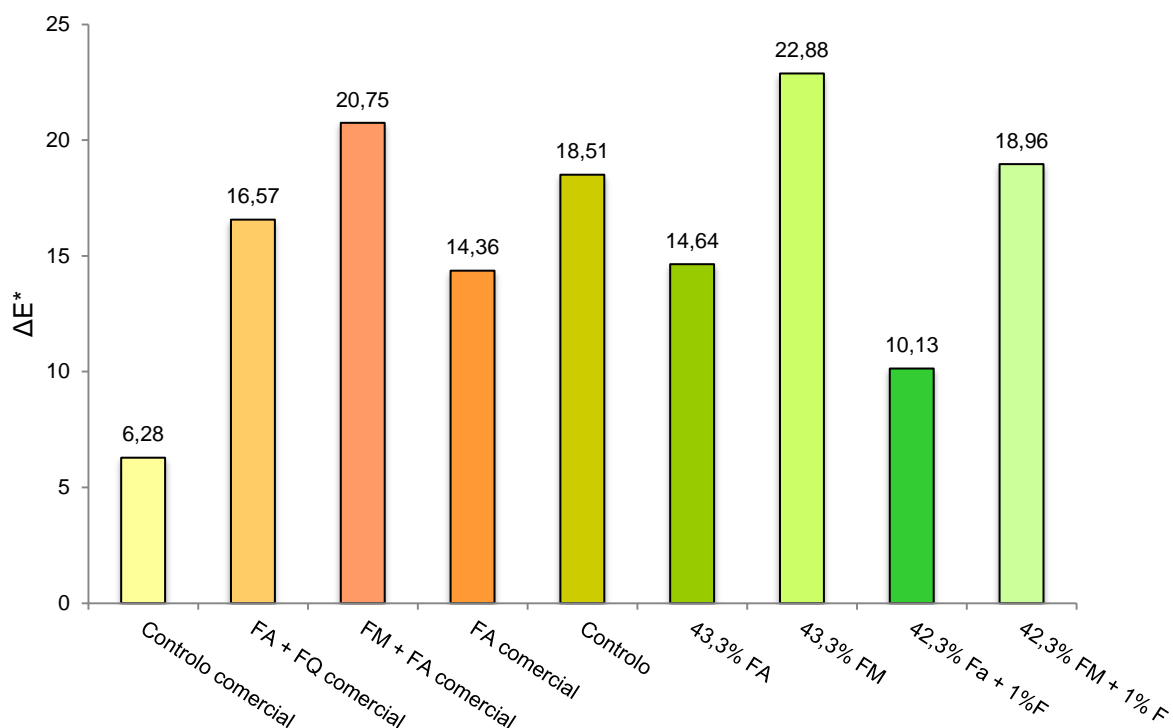


Figura 37 – Diferença de cor entre todas as amostras de massas alimentícias analisadas, cruas e cozidas.

*FA – Farinha de Arroz; FQ – Farinha de Quinoa; FM- Farinha de Milho; F - Farelo

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

As menores diferenças verificadas entre a cor das massas cruas e cozidas está associada à amostra controlo comercial e à amostra cuja formulação contém 42,3% de farinha de arroz e 1% de farelo. Enquanto as maiores diferenças são verificadas na massa fresca com 43,3% de farinha de milho na sua formulação e na massa comercial com farinha de milho e farinha de arroz. Este facto pode estar associado à presença de farinha de milho em grande quantidade nestas formulações e está de acordo com as conclusões obtidas anteriormente relativamente aos parâmetros L^* , a^* e b^* da cor para estas amostras, que apresentaram diferenças acentuadas antes e após a cozedura.

Na figura 38 é possível observar duas massas frescas isentas de glúten laminadas produzidas com formulações diferentes.

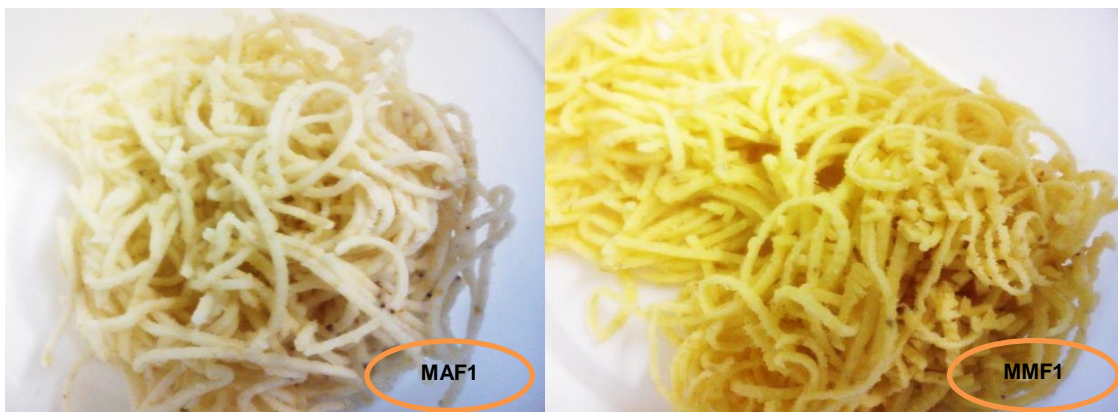


Figura 38 - Massas alimentícias frescas laminadas com diferentes composições: MAF1 (42,3% de farinha de arroz e 1% de farelo) e MMF1 (42,3% de farinha de milho e 1% de farelo).

Através da observação da figura 38 é possível verificar que existem diferenças acentuadas na cor das massas devido à presença de pigmentos, na formulação com farinha de milho, o que conferem à massa a cor amarela. Também é possível observar a presença de pontos escuros nas massas, atribuídos à presença de 1% de farelo em cada uma das formulações. Contudo, este componente é responsável pela diminuição na cor das massas após a cozedura, como foi verificado anteriormente.

Desta forma, conclui-se que a cor das massas é variável e está dependente dos ingredientes utilizados na sua produção e das técnicas de fabrico empregues. No entanto, após a cozedura os parâmetros da cor alteram-se e a tendência é a alteração da cor por parte das massas alimentícias (Fradique, 2008).

4.6.3. Parâmetros tecnológicos de cozedura

Neste ponto encontram-se descritos os resultados obtidos relativos aos parâmetros tecnológicos de cozedura das massas alimentícias isentas de glúten (comerciais e frescas).

No quadro 10 encontram-se os resultados obtidos para a perda de sólidos solúveis, índice de inchamento e absorção de água, para as massas alimentícias comerciais.

O tempo óptimo de cozedura foi pré estabelecido pelos fornecedores dos produtos em questão. Nesta situação, verifica-se que a massa comercial cuja formulação contém farinha de arroz e farinha de quinoa (MRQ) tem um tempo óptimo de cozedura superior às restantes amostras (15min). Por sua vez, a massa controlo comercial (MTF) tem um tempo óptimo de cozedura inferior (6min), visto que se trata de uma massa fresca e não seca como as restantes amostras comerciais.

Quadro 10 – Parâmetros de cozedura (tempo óptimo de cozedura, perda de sólidos solúveis, índice de inchamento e absorção de água) das massas alimentícias comerciais.

Código da amostra	Tempo óptimo de cozedura (min)	Perda de sólidos solúveis (%)	Índice de inchamento (ml/g matéria seca (g))	Absorção de água (%)
FA comercial (MA)	12	29,16±2,37 ^a	1,30±0,001 ^a	125,57±0,01 ^a
FA + FQ comercial (MRQ)	15	3,72±0,01 ^b	2,69±0,03 ^b	162,84±3,45 ^b
FM + FA (MMA)	14	32,23±0,07 ^a	1,30±0,04 ^a	127,07±0,29 ^a
Controlo comercial (MTF)	6	27,76±1,79 ^a	1,13±0,07 ^a	80,18±0,77 ^c

*FA – Farinha de Arroz; FQ – Farinha de Quinoa; FM – Farinha de Milho

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas na média das amostras para (p<0,05) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Observa-se que relativamente à perda de sólidos solúveis, existe uma discrepância nos resultados observados, nomeadamente um aumento significativo (p<0,05) na perda de sólidos solúveis para as amostras comerciais com farinha de arroz (MA), com farinha de milho e farinha de arroz (MMA) e para o controlo (MTF).

Quanto ao índice de inchamento, observa-se que entre as amostras comerciais com farinha de arroz (MA), com farinha de milho e farinha de arroz (MMA) e na amostra controlo (MTF) não existem diferenças significativas (p>0,05), denotando-se um aumento significativo no índice de inchamento (p<0,05) na formulação com farinha de arroz e farinha de quinoa (MRQ).

Os valores obtidos para a absorção de água nas amostras comerciais isentas de glúten são significativamente (p<0,05) mais elevados do que na massa controlo comercial (MTF), tal facto está relacionado com os teores de humidade das amostras, uma vez que as restantes formulações são secas. Não obstante, verifica-se que não existem diferenças significantes (p>0,05) na absorção de água entre as amostras comerciais com farinha de arroz (MA) e com farinha de milho e farinha de arroz (MMA).

No quadro 11 encontram-se os valores obtidos para estes mesmos parâmetros para as massas alimentícias frescas isentas de glúten.

Quadro 11 - Parâmetros de cozedura (tempo óptimo de cozedura, perda de sólidos solúveis, índice de inchamento e absorção de água) das massas alimentícias frescas isentas de glúten.

Código da amostra	Tempo óptimo de cozedura (min)	Perda de sólidos solúveis (%)	Índice de inchamento (ml/g matéria seca (g))	Absorção de água (%)
Controlo (MTC)	6	3,59±0,23 ^a	4,77±0,21 ^a	64,03±0,30 ^a
43,3% FA (MA2)	4	7,17±0,002 ^b	1,59±0,07 ^b	85,59±0,57 ^b
43,3% FM (MM1)	5	5,69±0,12 ^c	1,49±0,05 ^c	141,48±0,46 ^c
42,3% FA + 1% F (MAF1)	4	8,93±0,57 ^d	1,47±0,01 ^d	126,70±0,27 ^d
42,3% FM+ 1% F (MMF1)	5	7,72±0,25 ^{bd}	1,52±0,03 ^e	182,97±0,78 ^e

* FA – Farinha de Arroz; FM – Farinha de Milho; F - Farelo

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Contrariamente ao referido anteriormente, neste caso o tempo óptimo de cozedura foi determinado de acordo com o método descrito no ponto 3.2.9. e os resultados obtidos encontram-se expressos no quadro 11. Verifica-se que a massa controlo (MTC) apresenta um tempo óptimo de cozedura superior às restantes amostras, devido à presença do glúten que aumenta a resistência da massa durante a cozedura.

Quanto às massas isentas de glúten é possível observar que aquelas cuja formulação inclui farinha de arroz (MA2 e MAF1) apresentam menor resistência à cozedura quando comparadas com as restantes formulações. Por sua vez, a incorporação de farelo nas massas não influenciou o tempo óptimo de cozedura.

Relativamente à perda de sólidos solúveis, observou-se que o controlo (MTC) apresentou um valor significativamente inferior ($p < 0,05$) ao verificado nas outras amostras. Este facto deve-se à ausência da rede de glúten nas restantes formulações (MA2, MM1, MAF1 e MMF1). Contudo, a incorporação de farelo aumentou significativamente ($p < 0,05$) a perda de sólidos solúveis nas massas. Marti *et al* (2010) estudou a incorporação de farelo na produção de massas alimentícias e concluiu que o teor de fibra influenciou o enfraquecimento da rede de amido e consequentemente aumentou a perda de sólidos solúveis durante a cozedura das massas.

Quanto ao índice de inchamento, verifica-se que as massas isentas de glúten apresentam valores significativamente inferiores ($p < 0,05$) quando comparados com a massa controlo (MTC).

No referente à absorção de água verificam-se diferenças significativas ($p < 0,05$) entre todas as amostras. Observou-se um aumento significativo ($p < 0,05$) na absorção de água nas amostras isentas de glúten (MA2, MM1, MAF1 e MMF1). Verificou-se que a adição de 1% de farelo influenciou a absorção de água por parte das massas.

No quadro 12, encontram-se representados os parâmetros tecnológicos de cozedura obtidos para a totalidade das amostras analisadas.

Quadro 12 - Parâmetros de cozedura (tempo óptimo de cozedura, perda de sólidos solúveis, índice de inchamento e absorção de água) das massas analisadas (comerciais e frescas).

Código da amostra	Tempo óptimo de cozedura (min)	Perda de sólidos solúveis (%)	Índice de inchamento (ml/g matéria seca (g))	Absorção de água (%)
FA comercial (MA)	12	29,16±2,37 ^a	1,30±0,001 ^{ad}	125,57±0,01 ^a
FA + FQ comercial (MRQ)	15	3,72±0,006 ^b	2,69±0,03 ^b	162,84±3,45 ^b
FM + FA comercial (MMA)	14	32,23±0,07 ^a	1,30±0,04 ^{ad}	127,07±0,29 ^a
Controlo comercial (MTF)	6	27,76±1,79 ^a	1,13±0,07 ^a	80,18±0,77 ^c
Controlo (MTC)	6	3,59±0,23 ^b	4,77±0,21 ^c	64,03±0,30 ^d
43,3% FA (MA2)	4	7,17±0,002 ^{bc}	1,59±0,07 ^d	85,59±0,57 ^c
43,3% FM (MM1)	5	5,69±0,12 ^{bc}	1,49±0,05 ^{ad}	141,48±0,46 ^e
42,3% FA+ 1% F (MAF1)	4	8,93±0,57 ^c	1,47±0,01 ^{ad}	126,70±0,27 ^a
42,3% FM+ 1% F (MMF1)	5	7,72±0,25 ^{bc}	1,52±0,03 ^{ad}	182,97±0,78 ^f

* FA – Farinha de Arroz; FQ – Farinha de Quinoa; FM – Farinha de Milho; F - Farelo

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas na média das amostras para (p<0,05) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Verifica-se que as amostras controlo (MTF e MTC) têm um tempo óptimo de cozedura superior ao das massas frescas isentas de glúten. Tal facto pode estar relacionado com teor de humidade (>40%) das massas alimentícias frescas (Fernandes *et al*, 2013) ou com a ausência de uma rede bem estruturada entre as proteínas e o amido presentes nas massas, que facilita a difusão da água até ao seu interior diminuindo assim o tempo óptimo de cozedura (Padalino *et al*, 2013). Segundo Ormenese *et al* (2002) nas massas produzidas exclusivamente a partir de farinha de arroz (MA2 e MAF1) o tempo óptimo de cozedura é extremamente baixo devido à baixa tolerância que estas massas apresentam face ao recozimento.

Quanto à perda de sólidos solúveis, verifica-se que algumas das amostras comerciais (MA, MMA e MTF) apresentam valores significativamente superiores (p<0,05) comparativamente com as restantes formulações. Tal facto poderá estar associado à formação de uma rede proteica fraca que

permitiu a solubilização do amido para a água de cozedura, aumentando assim a perda de sólidos solúveis segundo Fernandes *et al* (2013), Marti *et al* (2013) e Marti *et al* (2013a).

As restantes amostras apresentam uma baixa perda de sólidos solúveis (<9%) quando comparadas com as amostras previamente citadas, uma vez que a perda de sólidos solúveis de uma massa alimentícia considerada de qualidade deve ser inferior a 8%, é possível constatar que as massas alimentícias frescas isentas de glúten desenvolvidas no presente trabalho apresentam uma boa estrutura e que a solubilização do amido é baixa. Estes valores estão de acordo com os citados por Schmiele *et al* (2013).

Por outro lado, observa-se um aumento na perda de sólidos solúveis nas massas isentas de glúten frescas quando comparadas com a massa controlo (MTC) desenvolvida nas mesmas condições. Este facto deve-se à presença de arroz nas formulações, uma vez que resultados semelhantes foram obtidos por Ormenese *et al* (2002) durante o desenvolvimento de massas alimentícias isentas de glúten à base de farinha de arroz. Os bons resultados obtidos para a perda de sólidos solúveis nas formulações desenvolvidas podem estar associados à presença de albumina de ovo, uma vez que esta contribui para a formação de uma rede proteica que melhora a retenção do amido, evitando a sua lixiviação. Resultados semelhantes foram descritos por Fernandes *et al* (2013).

Quanto aos valores obtidos para o índice de inchamento das diversas amostras verifica-se que este apresenta um valor significativamente ($p < 0,05$) mais elevado na massa controlo fresca (MTC), comparativamente com as restantes. Tal facto relaciona-se com a estrutura do glúten, que está presente na formulação controlo fresca (MTC), cuja capacidade de inchamento pode ser até quatro vezes superior à verificada nas massas onde o glúten não está presente (Fernandes *et al*, 2013).

Observa-se, no quadro 12, que a absorção de água é superior nas massas isentas de glúten. Estudos realizados por Ormenese *et al* (2002) revelaram que a granulometria da farinha utilizada na produção das massas isentas de glúten está estritamente relacionada com a capacidade de absorção de água por parte destas. Quanto às amostras comerciais secas (MMA, MRQ e MA), verificou-se que a absorção de água foi superior à verificada para a massa controlo (MTF), uma vez que a secagem conduziu a uma pré-gelatinização do amido, permitindo uma maior absorção de água por parte das massas devido à formação de pontes de hidrogénio. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva *et al* (2008).

4.6.4. Análise da textura

A textura é um factor de extrema importância no que toca à qualidade e aceitação das massas alimentícias por parte dos consumidores (Susanna *et al*, 2013). Como tal, o estudo da firmeza e da adesividade das massas alimentícias é uma etapa crucial no desenvolvimento deste produto.

Neste ponto são discutidas a firmeza (obtida através do teste de corte) e a extensibilidade das massas alimentícias analisadas, após a cozedura e comparados os resultados obtidos para todas as amostras (comerciais e frescas).

Na figura 39 encontram-se representados os resultados obtidos para a firmeza das massas comerciais. Estas apresentam valores de firmeza compreendidos entre 1,79 e 2,12N.

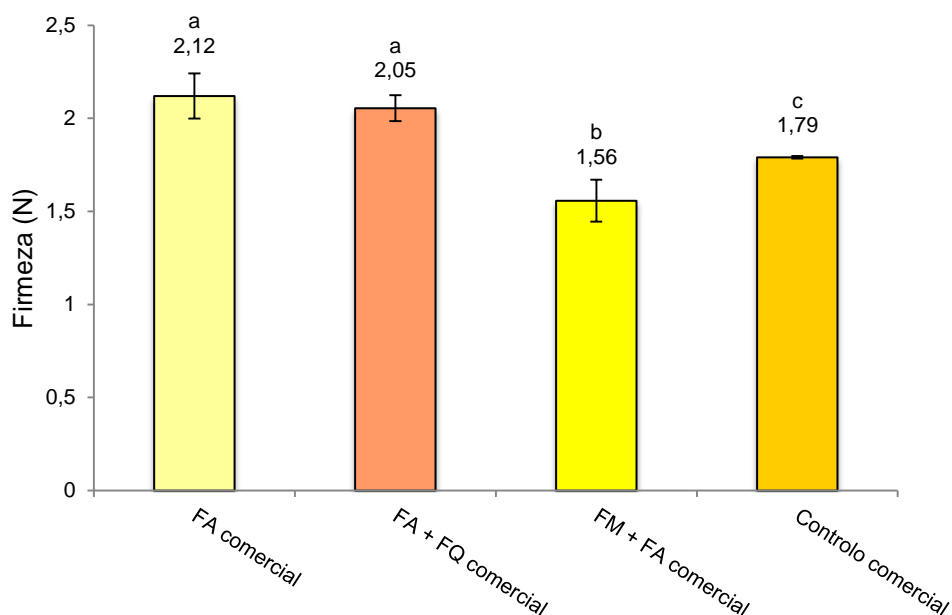


Figura 39 - Firmeza das massas alimentícias comerciais cozidas.

*FA – Farinha de Arroz; FQ – Farinha de Quinoa; FM- Farinha de Milho

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Verifica-se que a firmeza das amostras comerciais cozidas, cujo ingrediente principal é a farinha de arroz, é significativamente superior ($p < 0,05$) à firmeza verificada para as restantes formulações.

Quanto à extensibilidade, os resultados obtidos encontram-se representados na figura 40 e variam entre 8,59 mm para a amostra controlo comercial e 20,19 mm para a amostra com farinha de milho e farinha de arroz.

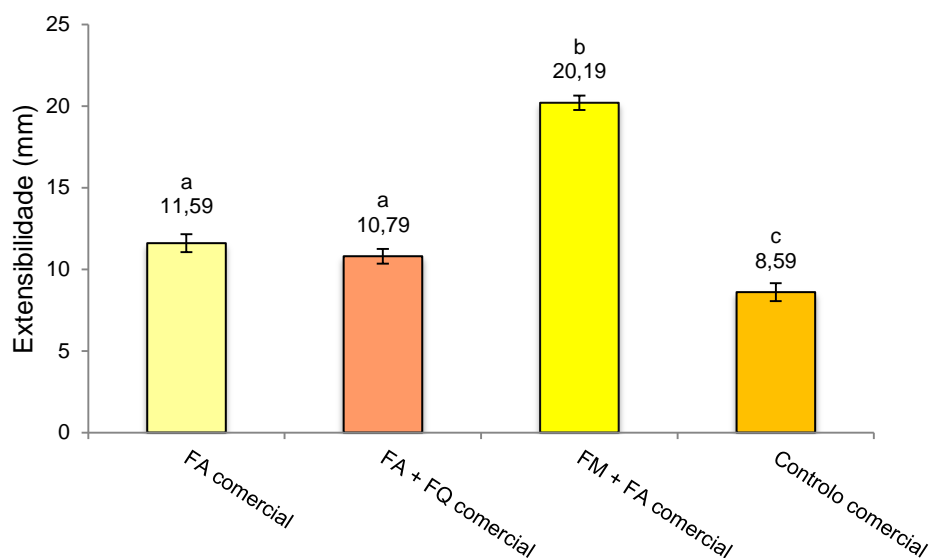


Figura 40 - Extensibilidade das massas alimentícias comerciais cozidas.

*FA – Farinha de Arroz; FQ – Farinha Quinoa; FM - Farinha de Milho

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Neste caso observa-se que não existem diferenças significativas ($p > 0,05$) na extensibilidade das amostras onde a farinha de arroz é o componente maioritário. No entanto, a massa de trigo fresca apresenta uma extensibilidade significativamente inferior ($p < 0,05$) comparativamente com as restantes amostras.

Na figura 41 é possível observar a firmeza das massas alimentícias frescas isentas de glúten comparativamente com a massa controlo (MTC). Os valores do parâmetro firmeza variam entre 0,26 e 0,42N.

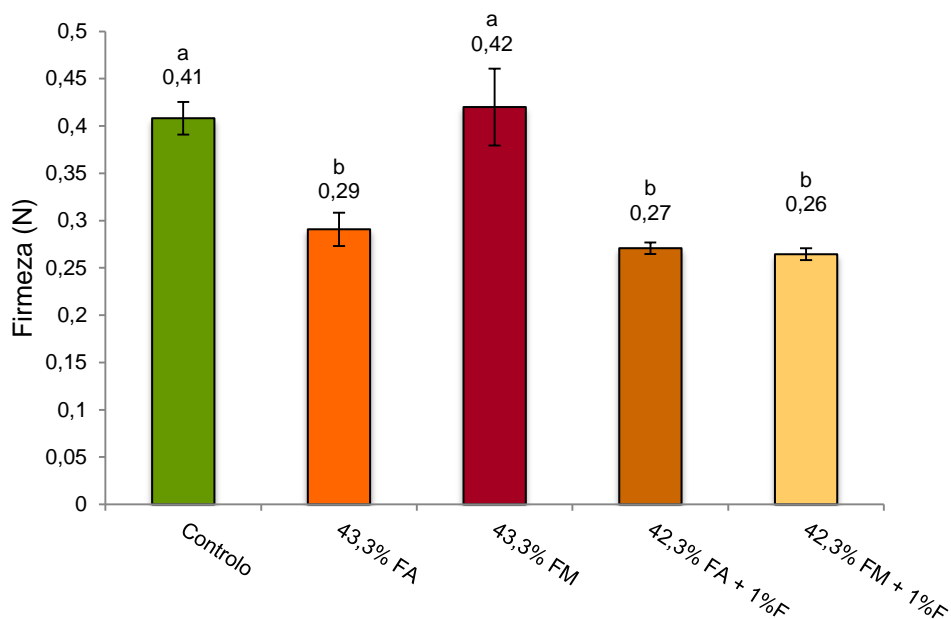


Figura 41 - Firmeza das massas alimentícias frescas isentas de glúten cozidas comparativamente com a massa controlo.

*FA – Farinha de Arroz; FM- Farinha de Milho; F - Farelo

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Verifica-se que a firmeza do controlo não difere significativamente ($p > 0,05$) da amostra com 43,3% de farinha de milho. Contudo, há uma diminuição significativa ($p < 0,05$) neste parâmetro de textura quando comparada com as restantes amostras.

Outro aspecto relevante é a diminuição significativa ($p < 0,05$) da firmeza da amostra com 42,3% de farinha de milho e 1% de farelo comparativamente com a amostra com 43,3% de farinha de milho, devido à presença de farelo de arroz estabilizado na formulação. Marti *et al* (2010) estudou a inclusão de fibras em massas e verificou que esta reduziu parcialmente a firmeza após a cozedura.

Pela análise da figura 42 observa-se que existem diferenças significativas ($p < 0,05$) na extensibilidade das massas quando comparadas com o controlo, tal facto deve-se à ausência do glúten nas restantes amostras. Os valores obtidos para este parâmetro encontram-se no intervalo de 3,59 e 9,39mm.

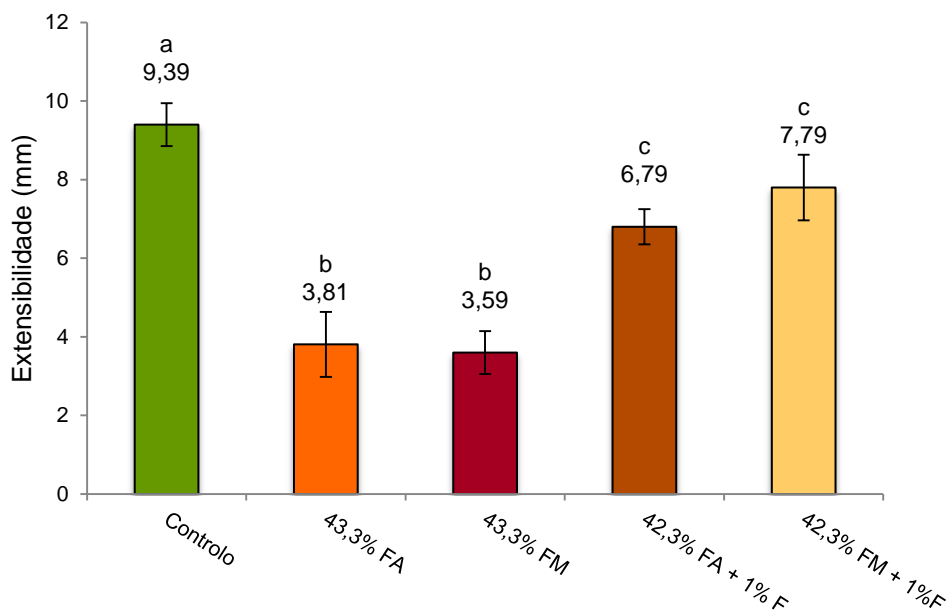


Figura 42 - Extensibilidade das massas alimentícias frescas isentas de glúten cozidas comparativamente com a massa controlo.

*FA – Farinha de Arroz; FM- Farinha de Milho; F - Farelo

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Observa-se que a presença de 1% de farelo nas formulações melhorou significativamente ($p < 0,05$) a extensibilidade das massas, comparativamente com as formulações onde este componente não foi incorporado. Resultados semelhantes foram obtidos por Carini *et al* (2009).

Na figura 43 é possível observar a firmeza da totalidade das amostras analisadas. Neste caso o intervalo de valores é muito superior ao verificado anteriormente, uma vez que compara as massas comerciais com as massas frescas. A firmeza está compreendida entre 0,26N para a amostra com 42,3% de farinha de milho e 1% de farelo e 2,12N para a amostra comercial com farinha de arroz.

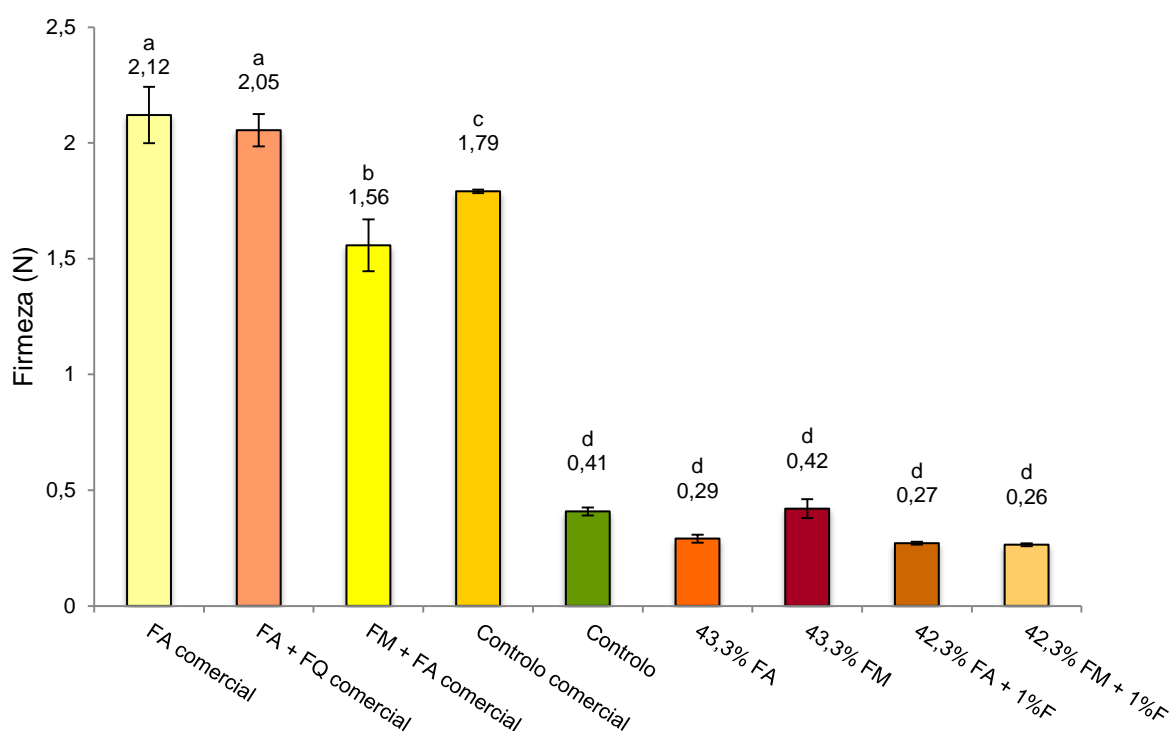


Figura 43 - Firmeza de todas as massas alimentícias analisadas (comerciais e frescas) cozidas.

*FA – Farinha de Arroz; FQ- Farinha de Quinoa; FM- Farinha de Milho; F - Farelo

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Verifica-se que existem grandes discrepâncias na firmeza das amostras. Tal facto está relacionado com os ingredientes utilizados no fabrico dos produtos e no processo tecnológico utilizado na sua produção.

As massas alimentícias frescas apresentam uma firmeza significativamente inferior ($p < 0,05$) à verificada para as massas alimentícias comerciais analisadas. Tal facto deve-se à ruptura da matriz proteica, presente nas massas alimentícias frescas isentas de glúten, que origina alterações na textura durante a cozedura e à consequente perda de amido para a água. Estas alterações são responsáveis pela perda de firmeza (Marti *et al*, 2010; Marti *et al*, 2013; Susanna *et al*, 2013). Outro factor que pode contribuir para a perda de firmeza das massas alimentícias após a cozedura é a retrogradação do amido, segundo Marti *et al* (2011) e Larrosa *et al* (2013).

Contudo, vários trabalhos realizados anteriormente, dos quais constam Cham *et al* (2010), verificaram que as massas produzidas a partir de farinha de arroz apresentam uma fraca resistência à força de cisalhamento/corte e consequentemente apresentam uma firmeza muito reduzida. Estes resultados estão de acordo com os obtidos no presente trabalho.

Contudo, embora a firmeza das massas frescas seja significativamente inferior ($p < 0,05$) à verificada para as amostras comerciais é importante salientar que comparativamente com o controlo desenvolvido nas mesmas condições as massas frescas isentas de glúten não apresentam diferenças significativas ($p > 0,05$) na firmeza.

Relativamente à extensibilidade das massas alimentícias, os resultados encontram-se descritos na figura 44 e variam entre 3,59mm para a amostra com 43,3% de farinha de milho e 20,19mm no caso da amostra comercial de farinha de milho e farinha de arroz.

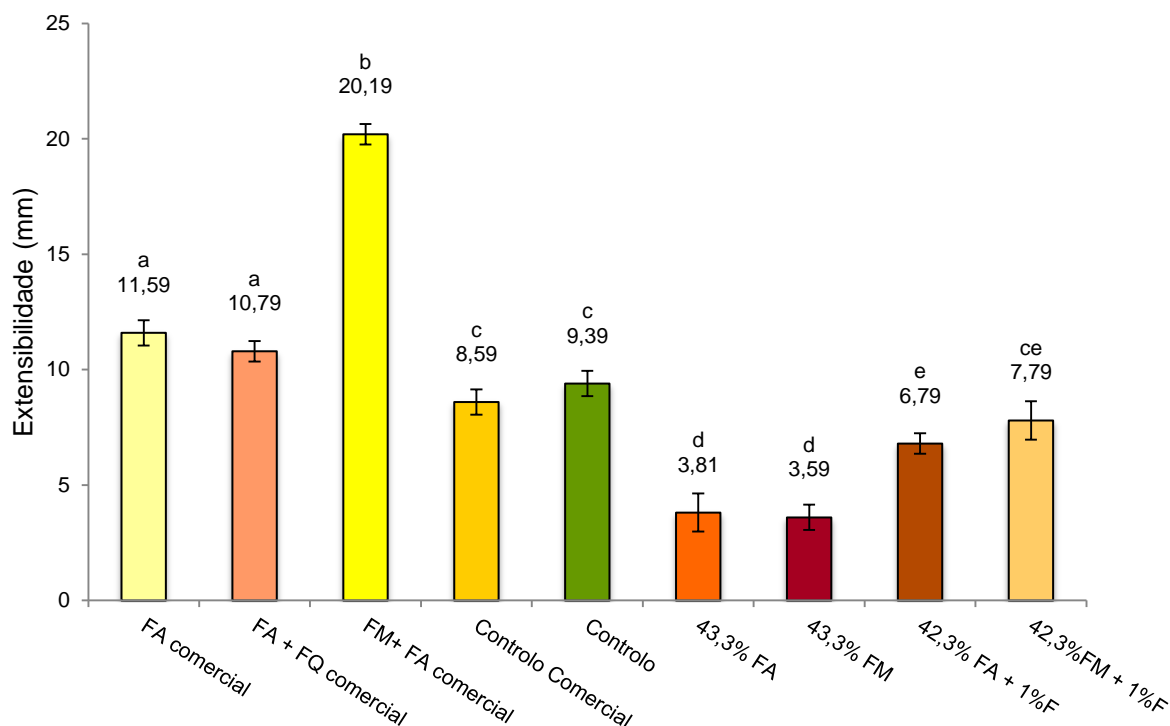


Figura 44 - Extensibilidade de todas as massas alimentícias analisadas (comerciais e frescas) cozidas.

*FA – Farinha de Arroz; FQ- Farinha de Quinoa; FM- Farinha de Milho; F - Farelo

* Letras diferentes representam diferenças significativas na média das amostras para ($p < 0,05$) – ANOVA, Post-Hoc, teste Scheffé.

Verifica-se que a adição de 1% de farelo às massas alimentícias frescas melhorou significativamente ($p < 0,05$) a extensibilidade das mesmas quando comparadas com as formulações iniciais (43,3% de farinha de arroz e 43,3% de farinha de milho) aproximando-as da massa controlo comercial e da massa controlo fresca.

Normalmente as massas alimentícias sem glúten apresentam menor extensibilidade quando comparadas com as massas de trigo (Ormenese *et al*, 2002; Moura, 2011). Este facto está associado à ausência da rede de glúten e à estrutura do amido uma vez que as massas são formadas por uma grande rede proteica constituída por ligações irreversíveis, proteína-proteína que através da desidratação tem a capacidade de encapsular os grânulos de amido e conferir extensibilidade à massa após a cozedura (West *et al*, 2013), quando esta rede é fraca a massa originária será viscosa e com uma consistência fraca.

Outro factor que influencia a extensibilidade das massas isentas de glúten é a retrogradação do amido utilizado no seu fabrico, uma vez que a farinha de arroz nativo tem uma baixa capacidade de formar um gel elástico que confere extensibilidade à massa (Cham *et al*, 2010).

No entanto existem outros factores que podem estar associados às características texturais das massas como é o caso do teor de amilose presente na farinha. Sanchez (1975) e Ormenese *et al* (2002) relataram que o conteúdo de amilose insolúvel presente na farinha de arroz é o principal factor

que contribui para a aquisição de uma boa consistência nas massas alimentícias, visto que esta retrograda antes da amilopectina e propicia uma maior rigidez aos grânulos de amido, levando à melhor consistência e menor desintegração durante a cozedura. A capacidade de inchamento do amido e a proporção de amilose-amilopectina são outros factores que afectam a textura das massas de arroz. (Marti *et al*, 2013)

4.7. Análise Sensorial

Após o desenvolvimento das diversas formulações torna-se necessário avaliar a viabilidade do processo ao nível industrial e para isso é extremamente importante saber a opinião do consumidor relativamente ao produto em questão.

Como foi referido no ponto 3.2.12., as formulações analisadas foram divididas em duas categorias principais, com e sem a presença de farelo de arroz carolino estabilizado e as pontuações obtidas após a realização da prova encontram-se assinaladas na figura que se segue.

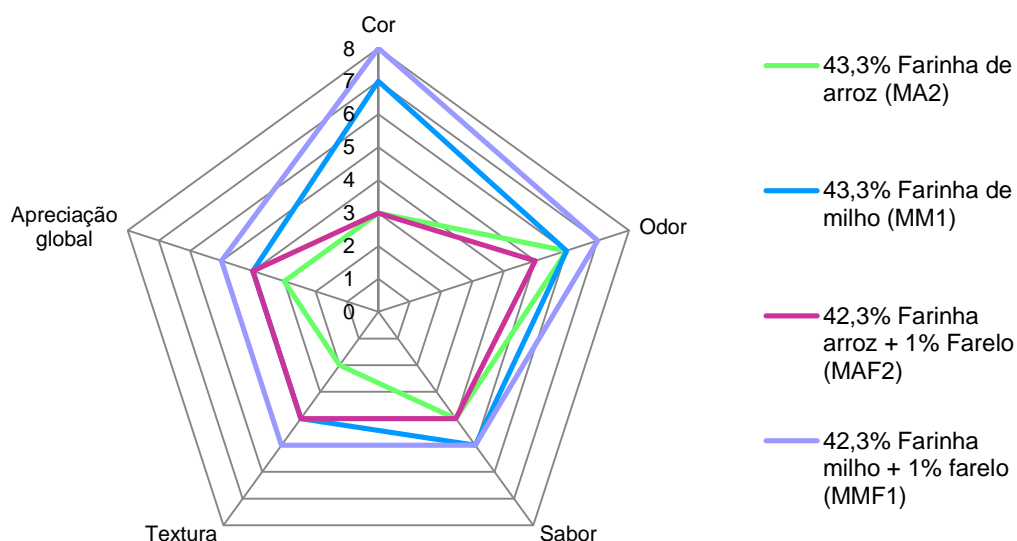


Figura 45 - Perfil sensorial das massas alimentícias frescas isentas de glúten.

Relativamente ao atributo da cor, verifica-se que as amostras cujas formulações são confeccionadas exclusivamente à base de arroz, obtiveram uma pontuação muito baixa. Foi referido pelos provadores o desagrado quanto à cor branca das massas quando comparadas com as amostras de milho que foram classificadas como muito agradáveis. Tal facto demonstra a importância do atributo da cor na avaliação das características sensoriais, tal como foi descrito por Zhu *et al* (2010).

Verificou-se que a preferência dos consumidores está nas amostras cuja formulação incorpora farinha de milho. Observa-se que mesmo com a incorporação do farelo a amostra com 42,3% de farinha de milho e 1% de farelo apresentou uma pontuação mais elevada, no atributo da cor do que a formulação sem farelo (43,3% de farinha de milho). No entanto, alguns provadores detectaram a presença de pintas escuras, associadas a este constituinte.

Por sua vez, o odor apresentou valores satisfatórios para as quatro formulações. A amostra com 42,3%(m/m) de farinha de arroz e 1%(m/m) de farelo apresentou o pior odor, provavelmente com 42,3% de farinha de arroz e 1% de farelo apresentou o pior odor, provavelmente devido à presença do farelo, tal como descrito por West *et al* (2013). A formulação com 42,3% de farinha de milho e 1% de farelo foi considerada pelos provadores como a de melhor odor.

Quanto ao sabor das massas verificou-se uma pontuação muito baixa em todas as amostras. O facto de a prova ter sido realizada com um grupo de provadores não celíacos que não está acostumado a este tipo de produtos influenciou a percepção deste atributo, uma vez que o sabor está relacionado intrinsecamente com diferentes impressões sensoriais, sentidas através da degustação dos alimentos e da observação (Zhu *et al*, 2010). As amostras foram descritas como sendo pouco saborosas.

Relativamente à textura as principais observações foram atribuídas às amostras cuja formulação incorpora 43,3% de farinha de arroz, onde foi referida a elevada adesividade em comparação com as restantes amostras e a falta de firmeza. Este facto está associado à lixiviação do amido durante a cozedura das massas que aumenta a sua viscosidade (Hager, 2013). Nas amostras cuja formulação apresenta farinha de milho persistiu o problema da textura, associado à falta de firmeza. Por sua vez, a firmeza da amostra com 42,3% de farinha de milho e 1% de farelo apresentou um valor aceitável comparativamente com as restantes. É possível verificar que segundo a percepção dos consumidores, as características de textura também melhoraram com a incorporação do farelo.

Na apreciação global, verificou-se uma preferência pela amostra com 42,3% de farinha de milho e 1% de farelo, enquanto a amostra com 43,3% de farinha de arroz foi a que apresentou a pior apreciação. Como foi referido anteriormente, este facto está relacionado com o aspecto demasiado branco da massa e com os costumes sociais, uma vez que para os consumidores uma massa de qualidade é aquela que apresenta uma aparência amarelada e a característica de textura “*al dente*”. (Carini *et al*, 2014)

Quanto à intenção de compra, apenas a amostra com 42,3% de farinha de milho e 1% de farelo apresentou um valor aceitável (3), numa escala de 0 a 5.

5. CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1. Conclusões gerais

Após a realização deste trabalho conclui-se que é possível otimizar uma massa alimentícia fresca isenta de glúten a partir de farinha de trinca de arroz carolino com incorporação de farinha de milho e farelo estabilizado, gelatinizando uma parte da farinha de trinca de arroz carolino.

Observou-se que as massas alimentícias desenvolvidas com diferentes concentrações de gel (MA1, MA2 e MA3) não apresentaram valores de firmeza e adesividade próximas da massa de trigo controlo (MTC), no entanto a formulação com 43,3% de gel apresentou características maquináveis quando comparada com as restantes o que permitiu o desenvolvimento de uma massa alimentícia fresca isenta de glúten com características aceitáveis. Quanto às formulações desenvolvidas com diferentes concentrações de farinha de milho (MAM1, MAM2, MAM3 e MM1) optou-se por aquela com uma concentração de 43,3% esta farinha, visto que apresentou melhores características texturais e sensoriais sob o ponto de vista tecnológico.

Durante a produção de massas alimentícias isentas de glúten com várias concentrações de farelo, concluiu-se que 1% de farelo de arroz estabilizado permitiu obter uma massa alimentícia com características semelhantes às verificadas para a massa de trigo controlo (MTC).

Verificou-se que as massas alimentícias frescas isentas de glúten apresentam um teor de humidade relativamente elevado quando comparadas com a massa de trigo controlo. Quanto aos valores do a_w , estes indicaram uma alta perecibilidade para todas as amostras frescas. Estes valores poderiam ser minimizados através da aplicação de um processo de secagem nas amostras desenvolvidas.

Relativamente à cor, como era de esperar verificam-se alterações significativas nas formulações desenvolvidas em comparação com as massas comerciais analisadas devido às diferentes composições e processos utilizados na produção das mesmas. Também foi verificada uma alteração da cor após a cozedura em todas as amostras devido à hidratação que ocorre durante esta etapa.

Quanto aos parâmetros tecnológicos de cozedura concluiu-se que existem diferenças significativas entre todas as formulações analisadas e que relativamente à perda de sólidos solúveis as massas alimentícias frescas desenvolvidas apresentaram valores satisfatórios para este parâmetro uma vez que não excederam os 9%.

As amostras (MA2, MM1, MAF1 e MMF1) de massas alimentícias frescas isentas de glúten que foram laminadas e cozidas apresentaram valores de firmeza e extensibilidade baixos quando comparados com a massa de trigo controlo e com as massas comerciais estudadas.

Quanto à análise sensorial as formulações com incorporação de farinha de milho ganharam a preferência dos consumidores comparativamente às restantes. No entanto, a adição de 1% de farelo de arroz estabilizado nas duas amostras (MMF1 e MAF1) não foi detectada pela maioria dos provadores, sendo que a estas amostras foram atribuídas melhores características face às formulações base (MA2 e MM1).

Desta forma conclui-se que a formulação com 42,3% de farinha de milho e 1% de farelo (MMF1) apresentou a melhor estrutura interna (firmeza, adesividade e extensibilidade) comparativamente com as restantes amostra e aproximou-se da massa de trigo controlo. Relativamente aos parâmetros tecnológicos de qualidade alcançou bons resultados quando comparada com as restantes formulações e obteve a preferência dos provadores durante a análise sensorial apresentando assim um maior potencial face às restantes formulações estudadas.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

Após a realização deste trabalho tornou-se evidente que ainda existem muitos estudos a levar a cabo no que toca ao desenvolvimento de produtos para celíacos. No entanto, produziu-se uma massa alimentícia fresca isenta de glúten com características aceitáveis e que pode ser produzida facilmente e a um baixo custo. Neste âmbito, surgem algumas sugestões cujo objectivo consiste em promover a optimização deste produto como:

- Incorporação de outras farinhas, nomeadamente de soja ou mandioca com vista a melhorar as características texturais (firmeza, adesividade e extensibilidade) das massas frescas isentas de glúten.
- Adição de gema de ovo para melhorar as características sensoriais da massa (sabor, cor, entre outros).
- Adição de hidrocolóides, emulsionantes, proteínas, entre outros, à formulação final, com o intuito de melhorar a firmeza e a extensibilidade da massa alimentícia.
- Incorporação de outras concentrações de farelo de arroz estabilizado com o intuito de melhorar as características nutricionais da formulação.
- Aplicação de um processo de secagem com vista à redução do teor de humidade da massa alimentícia fresca isenta de glúten de modo a permitir uma maior durabilidade do produto.
- Utilização de um painel de provadores celíacos, com colaboração da APC, na avaliação sensorial da massa para permitir a optimização da formulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APC, Associação Portuguesa de Celiacos. 2015. *Doença Celíaca*. Disponível em: <http://www.celiacos.org.pt/doenca-celiaca/definicao.html>. Acessível em: 21/08/2014.

APN, Associação Portuguesa de Nutricionistas. 2014. *Massas alimentícias uma abordagem técnica e científica*. Disponível em: http://www.milaneza.pt/wp-content/uploads/2014/10/E-Book-Massas_-_APN.pdf. Acessível em: 21/11/2014.

ARAÚJO, H.M.C.; ARAÚJO, W.M.C; BOTELHO, R.B.A & ZANDONADI, R.P.. – Doença celíaca, hábitos e práticas alimentares e qualidade de vida. *Revista de Nutrição*. Vol. 23, nº3, 2010,467-474p.

ARAVIND, N.; SISSONS, M.; EGAN, N. & FELLOWS, C.. – Effect of insoluble dietary fiber addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chemistry*. Vol. 130, nº1, 2012, 299-309p.

ARENDT, E.K. & BELLO, F.D. – **Gluten-Free Cereal Products and Beverages**. 1ªed. EUA: Elsevier Science, 2008. 464p.

AUGUSTO-RUIZ, W; BONATO, S. R.; ARRIECHE, L. S. & ALVES, F. V. – Caracterização da farinha pré-gelatinizada de arroz integral produzida a partir de grão quebrados. *Vetor*. Vol. 13, nº1, 2003, 25-46p.

BAPTISTA, M.L. – Celiac disease: a contemporary view. *Reviews and Essays*. Vol.28, nº4, 2006, 262-271p.

BARBIROLI, A.; BONOMI, F.; CASIRAGHI, M. C.; LAMETTI, S.; PAGANI, M. A. & MARTI, A. – Process conditions affect starch structure and its interactions with proteins in rice pasta. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 92, nº1, 2013, 1865-1872p.

BHATTACHARYA, K. R. - Parboiling of rice. In: CHAMPAGNE E. T., - **Rice: Chemistry and Technology**. 1ª ed. Minnesota: The American Association of Cereal Chemists, 2004. 329-404p.

BORGES, J.T.S.; ASCHERI, J.L.R.; ASCHERI, D.R.; NASCIMENTO, R.E. & FREITAS, A.S. – Propriedades de cozimento e caracterização físico-química de macarrão pré cozido à base de farinha integral de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) e de farinha de arroz (*Oryza sativa*, L) polido por extrusão termoplástica. *B.CEPBP, Curitiba*. Vol. 21, nº2, 2003, 303-322p.

BOURNE, M.C. – **Food Texture and Viscosity**. 2ªed. Reino Unido: Academic Press, 2002. 416p.

BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G. & HUNTER, J.S. – **Statistics for Experimenters**. 2ªed. Nova Jersey: Wiley, 2005. 664p.

CABRERA-CHÁVEZ, F.; CALDERÓN DE LA BARCA, A.M.; ISLAS-RUBIO, A.R.; MARTI, A.; MARENGO, M.; PAGANI, M. A.; BONOMI, F. & IAMETTI, S.. - Molecular rearrangements in extrusion

processes for the production of amaranth-enriched, gluten-free rice pasta. LWT – Food Science and Technology. Vol. 47, nº1, 2012, 421-426p.

CAFIERI, S; MASTROMATTEO, M.; CHILLO, S. & DEL NOBILE, M. A. - Modeling the mechanical properties of pasta cooked at different times. Journal of Food Engineering. Vol.100, nº1, 2010, 336-342p.

CANO, A.; JIMÉNEZ, A.; CHÁFER, M.; GÓNZALEZ, C. & CHIRALT, A. – Effect of amylose: amylopectin ratio and rice bran addition on starch films properties. Carbohydrate Polymers. Vol.111, nº1, 2014, 543-555p.

CARENA, M.J. – **Cereals: Volume III**. 1ªed. Nova York: Springer, 2009. 425p.

CARINI, E.; CURTI, E.; CASSOTTA, F.; NAJM, N. E. O. & VITTAINI, E. – Physico-chemical properties of ready to eat, shelf-stable pasta during storage. Food Chemistry. Vol. 144, nº1, 2014, 74-79p.

CARINI, E.; VITTADINI, E.; CURTI, E. & ANTONIAZZI, F. – Effects of different shaping modes on physico-chemical properties and water status of fresh pasta. Journal of Food Engineering. Vol. 93, nº1, 2009, 400-406p.

CHAM. S. & SUWANNAPORN, P. – Effect of hydrothermal treatment of rice flour on various rice noodles quality. Journal of Cereal Science. Vol. 51, nº1, 2010, 284-291p.

CHEN, M. H. & BERGMAN, C. J. – Method for determining the amylose content, molecular weights, and weight and molar-based distributions of degree of polymerization of amylose and fine-structure of amylopectin. Carbohydrate Polymers. Vol. 69, nº1, 2007, 562-578p.

CLERICI, M. T. P. S. & EL-DASH, A. A. – Características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. Ciência e Agrotecnologia. Vol. 32, nº 5, 2008, 1543-1550p.

CORNELL, H.J. & HOVELING, A.W. – **Wheat Chemistry and Utilization**. 1ªed. Suíça: Technomic Publishing Company Inc, 1998. 426p.

COULTADE, T. P. – **Food the Chemistry of its Components**. 4ª ed. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2002, 448p.

DELCOUR, J.A. & HOSENEY, C. – **Principles of Cereal Science and Technology**. 3ªed. Minnesota: AACC International, 2010. 270p.

FARIA, S. A. S. C.; BASSINELLO, P. Z. & PENTEADO, M. V. C. – Nutritional composition of rice bran submitted to different stabilization procedures. Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences. Vol. 48, nº 4, 2012, 651-657p.

FERNANDES, M. S.; SEHN, G. A. R.; LEORO, M. G. V.; CHANG, Y. K. & STEEL, C. J. – Effect of adding unconventional raw materials on the technological properties of rice fresh pasta. Food Science and Technology. Vol.33, nº2, 2013, 257-264p.

FIORDA, F. A.; SOARES JR., M. S.; SILVA, F. A.; GORSMANN, M. V. E. & SOUTO, L. R. F. – Microstructure, texture and colour of gluten-free pasta made with amaranth flour, cassava starch and cassava bagasse. LWT – Food Science and Technology. Vol. 54, nº1, 2013, 132-138p.

FITZGERALD, M. A.; BERGMAN, C. J.; RESURRECCION, A. P.; MÖLLER, J.; JIMENEZ, R.; REINKE, R. F.; MARTIN, M.; BLANCO, P.; MOLINA, F.; CHEN, M. H.; KURI, V.; ROMERO, M. V.; HABIBI, F.; UMEMOTO, T.; JONGDEE, S.; GRATEROL, E.; REDDY, K. R.; BASSINELLO, P. Z.; SIVAKAMI, R.; RANI, N. S.; DAS, S.; WANG, Y. J.; INDRASARI, S. D.; RAMLI, A.; AHMAD, R.; DIPTI, S. S.; XIE, L.; LANG, N. T.; SINGH, P.; TORO, D. C.; TAVASOLI, F. & MESTRES, C. - Addressing the dilemmas of measuring amylose in rice. Cereal Chemistry. Vol. 86, nº 5, 2009, 492-498p.

FRADIQUE, H. M. M. – Incorporação de Biomassa de *Clorella vulgaris* e *Spirulina maxima* em Massas Alimentícias. Almada: Instituto Superior de Estudos Interculturais e Transdisciplinares, Instituto Piaget, 2008. 120p. Tese de Mestrado em Engenharia Alimentar e Nutrição.

FRIBERG, S.E.; LARSSON, K. & SJÖBLOM, J. – **Food Emulsions**. 4ªed. Reino Unido: Taylor e Francis e-Library, 2005. 640p.

GALERA, J. S. – Substituição parcial da farinha de trigo por farinha de arroz (*Oryza sativa* L.) na produção de “sonho”-estudo modelo. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, 2006. 99p. Tese de Mestrado em Bromatologia.

GENDEL, S.M. – Other Significant Hazards: Food Allergies and Intolerances. Encyclopedia of Food Safety. Vol.3, nº1, 2014, 103-109p.

GUERREIRO, M. & MATA, P. – **A cozinha é um laboratório**. 2ª ed. Lisboa: Fonte da Palavra, 2010. 144p.

GZAJA-BULSA, G. – Non-coeliac gluten sensitivity: A new disease with gluten intolerance. Clinical Nutrition. Vol.1, nº1, 2014, 1-6p.

HAGER, A. S. – Cereal products for specific dietary requirement: Evaluation and improvement of technological and nutritional properties of gluten free raw materials and end products. Cork: University College Cork, 2013. 240p. PhD in Food Science and Technology.

HAGER, A. S.; WOLTER, A.; JACOB, F.; ZANNINI, E. & ARENDT, E. K. – Nutritional properties and ultra-structure of commercial gluten free flours from different botanical sources compared to wheat flours. Journal of Cereal Science. Vol. 56, nº1, 2012, 239-247p.

HAMAKER, B. R. – **Technology of Functional Cereal Products**. 1ª ed. Abington: Woodhead Publishing Limited, 2007. 568p.

HASJIM, J.; LI, E. & DHITAL, S. – Milling of rice grains: Effects of starch/flour on gelatinization and pasting properties. Carbohydrate Polymers. Vol. 92, 2013, 682-690p.

HOLDER, B. H. – Characterization of Starch by Vibrational Spectroscopy. Lincoln: University of Nebraska, 2012. 94p. Thesis for the degree of Master of Food Science and Technology.

HUNT, R.W.G. & POINTER, M.R. – **Measuring Colour**. 4ªed. Reino Unido: Wiley, 2011. 492p.

INE, Instituto Nacional de Estatística. 2015. Arroz. Disponível em: http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_pesquisa&frm_accao=PESQUISAR&frm_show_page_num=1&frm_modulo_pesquisa=PESQUISA_SIMPLES&frm_modulo_texto=MODO_TEXTO_ALL&frm_texto=arroz&frm_imgPesquisar=++. Acessível em: 10/09/2014

JACOBS, H. & DELCOUR, J. A. - Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. Journal of Agricultural and Food Chemistry. Vol.46, nº1, 1998, 2895-2905p.

KILCAST, D. – **Instrumental Assessment of Food Sensory Quality**. 1ªed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2013. 627p.

KILL, R. & TURNBULL, K. – **Pasta and Semolia Technology**. 1ªed. Londres: Blackwell Science, 2001. 242p.

LAI, H. M. - Effects of rice properties and emulsifiers on the quality of rice pasta. Journal of Science and Food Agriculture. Vol. 82, nº1, 2002, 203-216p.

LARROSA, V.; LORENZO, G.; ZARITZKY, N. & CALIFANO, A. – Optimization of rheological properties of gluten-free pasta dough using mixture design. Journal of Cereal Science. Vol.57, nº1, 2013, 520-526p.

LIU, H.; YU, L.; SIMON, G.; DEAN, K. & CHEN, L. - Effects of annealing on gelatinization and microstructures of corn starches with different amylose/amylopectin ratios. Carbohydrate Polymers, Vol. 77, nº1, 2009, 662-669p.

LUCISANO, M.; CAPPA, C.; FONGARO, L. & MARIOTTI, M., - Characterisation of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: Evaluation of the cooking behaviour. Journal of Cereal Science – ELSEVIER. Vol. 56, nº1, 2012, 667-675p.

LUH, B. S. – **Rice, Volume II: Utilization**. 2ªed. EUA: Springer, 1991. 414p.

MACLEAN, J.L.; DAWE, D.C.; HARDY, B. & HETTEL, G.P. – **Rice Almanac**. 3ªed. Reino Unido: CABI Publishing, 2002. 253p.

MARIOTTI, M.; IAMETTI, S.; CAPPA, C.; RASMUSSEN, P. & LUCISANO, M. – Characterization of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: Evaluation of the uncooked products. Journal of Cereal Science. Vol. 53, nº 1, 2011, 319-327p.

MARSHALL, W.E. & WADSWORTH, J.I. – **Rice Science and Technology**. 1ªed. Nova York: CRC Press, 1993. 486p.

MARTI, A. & PAGANI, M. A. – What can play the role of gluten free pasta?. Trends in Food Science & Technology. Vol. 31, nº1, 2013, 63-71p.

MARTI, A.; CARAMANICO, R.; BOTTEGA, G. & PAGANI, M. A. – Cooking behavior of rice pasta: Effect of thermal treatments and extrusion conditions. LWT – Food Science and Technology. Vol. 54, nº1, 2013 a, 229-235p.

MARTI, A.; PAGANI, M. A. & SEETHARAMAN, K. – Understanding starch organization in gluten-free pasta from rice flour. Carbohydrate Polymers. Vol. 84, nº1, 2011, 1069-1074p.

MARTI, A.; SEETHERAMEN, K. & PAGANI, M.A. - Rice-based pasta: a comparison between conventional pasta-making and extrusion-cooking. Journal of Cereal Science. Vol. 52, nº1, 2010, 404-409p.

MCDONALD, R. – **Colour Physics for Industry**. 2ªed. Reino Unido: Society of Dyers and Colourists, 1997. 534p.

MCGUIRE, R.G. – Reporting of objective colour measurements. HortScience. Vol. 27, nº12, 1992, 1254-1255p.

MOURA, C. M. A. – Qualidade de farinhas pré-gelatinizadas e macarrões formulados com arroz (*Oryza sativa* L.) e linhaça (*Linum usitatissimum* L.). Goiânia: Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, 2011. 178p. Tese de Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos.

MOURA, L. S. M. – Caracterização físico-química e reológica de farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz, milho e feijão por extrusão termoplástica. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, 2012. 123p. Tese de Mestrado em Ciências e Tecnologia dos Alimentos.

NABESHIMA, E. H. – Desenvolvimento de massas alimentícias instantâneas de arroz, pelo processo de extrusão termoplástica, utilizando farinhas quimicamente modificadas. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Departamento de Tecnologia de Alimentos, 2007. 183p. Tese de Doutorado em Tecnologia de Alimentos.

NABESHIMA, E. H.; HASHIMOTO, J. M. & EL-DASH, A. A. – Efeito da adição de emulsionantes em massas alimentícias sem glúten produzidas com extrusora termoplástica. B. CEPPA. Vol. 21, nº2, 2003, 223-238p.

NAVES, M. M. V. – Características químicas e nutricionais do arroz. B.CEPPA. Vol. 25, nº 1, 2007, 51-60p.

NOBRE, S.R.; SILVA, T. & CABRAL, J.E.P.. – Doença celíaca revisitada. Jornal Português de Gastrenterologia. Vol. 14, nº1, 2007, 184-193p.

NP 1614.1, 2009, Carne e produtos cárneos – Determinação do teor de humidade: método de referência. Lisboa: IPQ.

OHISHI, K.; KASAI, M.; SHIMADA, A. & HATAE, K. – Effects of acetic acid on the rice gelatinization and pasting properties of rice starch during cooking. Food Research Internacional. Vol. 40, nº1, 2007, 224-231p.

OLIVEIRA, A.F.G. – Testes estatísticos para comparação de médias. Revista Electrónica Nutritime. Vol.5, nº6, 2008, 777-788p.

ORMENESE, R. C. S. C. – Macarrão de arroz: Características de cozimento e textura em comparação e aceitação pelo consumidor. Brazilian Journal of Food Technology. Vol. 6, nº1, 2003, 91-97p.

ORMENESE, R. C. S. C. & CHANG, Y. K. – Massas alimentícias de arroz: uma revisão. B. CEEPA. Vol.20, nº2, 2002, 175-190p.

PADALINO, L.; MASTROMATTEO, M.; LECCE, L.; COZZOLINO, M. A. & DEL NOBILE, M. A. – Manufacture and characterization of gluten-free spaghetti enriched with vegetable flour. Journal of Cereal Science. Vol. 57, nº1, 2013, 333-342p.

PITÉ, M.R. - Validação de um método alternativo de análise de glúten em géneros alimentícios, o ELISA-R5: comparação com o actual método oficial de análise. Lisboa: Universidade de Lisboa, Faculdade de Farmácia, 2007. 100p. Tese de Mestrado em Controlo da Qualidade e Toxicologia dos Alimentos.

PUNCHA-ARNON, S. & UTTAPAP, D. – Rice starch vs. rice flour: Differences in their properties when modified by heat-moisture treatment. Carbohydrate Polymers. Vol. 91, nº1, 2013, 85-91p.

RAO, M.A. – **Rheology of Fluid and Semisolid Foods**. 2ªed. Nova York: Springer US, 2007. 481p.

RÉGULA, L. M. – Padrões visuais e Tolerâncias Colorimétricas no Controlo Instrumental das Cores. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2004. 143p. Tese de Mestrado em Metrologia.

ROSELL, C. M.; BARRO, F.; SOUSA, C. & MENA, M. C. – Cereals for developing gluten-free products and analytical tools for gluten detection. Journal of Cereal Science. Vol. 59, nº1, 2014, 354-364p.

ROSENTHAL, A.J. – **Food Texture: Measurement and Perception**. 1ªed. EUA: Springer US, 1999. 312p.

ROTIMI, A. E. – **Functional Foods and Nutraceuticals**. 1ª ed. Nova York: Springer-Verlag, 2012. 155p.

SANCHEZ, P.C. – Varietal influence on the quality of Philippines rice. Food Technology. Vol.25, nº1, 1975, 51-52p.

SAPONE, A.; BAI, J.C.; CIACCI, C.; DOLINSEK, J.; GREEN, P.H.R.; HADJIVASSILIOU, M.; KAUKINEN, K.; ROSTAMI, K.; SANDERS, D.S.; SCHUMANN, M.; ULLRICH, R.; VILLATA, D.; VOLTA, U.; CATASSI, C. & FASANO, A. – Spectrum of gluten-related disorders: consensus on new nomenclature and classification. BMC Medicine. Vol.10, nº13, 2012, 1-12p.

SCHMIELE, M.; JAEKEL, L. Z.; ISHIDA, P. M. G.; CHANG, Y. K. & STEEL, C. J. - Massa alimentícia sem glúten com elevado teor proteico obtida por processo convencional. Ciência Rural, Santa Maria. Vol. 43, nº5, 2013, 908-914p.

SCHOFIELD, J. – **Wheat Structure: biochemistry and functionality**. 1ªed. Reino Unido: Royal Society of Chemistry, 1996. 402p.

SEVERO, M.G.;MORAES, K. & RUIZ, W.A.. – Modificação enzimática de arroz visando a produção de amido resistente. Química Nova. Vol.33, nº 2, 2010, 345-350p.

SILVA, E. M. M.; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. P. R. & CARVALHO, L. M. J. – Efeito dos parâmetros de extrusão nas características de viscosidade de pasta e índice de absorção de água de macarrões pré-cozidos elaborados a partir de farinha mista de arroz integral e milho obtidos por extrusão. B. CEPPA. Vol. 26, nº 2, 2008, 239-254p.

SILVA, G. O.; TAKIZAWA, F. F.; PEDROSO, R. A.; FRANCO, C. M. L.; LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S. & DEMIATE, I. M. – Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. Food Science and Technology. Vol. 26, nº1, 2006, 188-197p.

SOUSA, I.M.N.– A Reologia dos Produtos Alimentares, In: COVAS, J.A.; CASTRO, A.G. & DIOGO, A.C. - Reologia e Suas Aplicações Industriais. 1ªed. Lisboa: Instituto Piaget, 2001. 131-157p.

SOZER, N. - Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums. Food Hydrocolloids. Vol.23, nº1, 2009, 849-855p.

- SPIGNO, G. & FAVERI, D. M. – Gelatinization kinetics of rice starch studied by non-isothermal calorimetric technique: influence of extraction method, water concentration and heating rate. Journal of Food Engineering. Vol. 62, nº1, 2004, 337-344p.
- SULAIMAN, R. & DOLAN, K. D. – Effect of amylose content on estimated kinetic parameters for a starch viscosity model. Journal of Food Engineering. Vol. 114, nº1, 2013, 75-82p.
- SUSANNA, S. & PRABHASANKAR – A study on development of gluten free pasta and its biochemical and immunological validation. LWT – Food Science and Technology. Vol. 50, nº1, 2013, 613-621p.
- TAKAHASHI, T.; MIURA, M.; OHISA, N. & KOBAYASHI, S. – Modification of gelatinization properties of rice flour by heat-treatment. Nihon Reorogi Gakkaishi. Vol. 33, nº2, 2005, 81-85p.
- TAKO, M.; TAMAKI, Y.; TERUYA, T. & TAKEDA, Y. – The principles of starch gelatinization and retrogradation. Food and Nutrition Sciences. Vol. 5, nº1, 2014, 280-291p.
- TAM, L. M.; CORKE, H.; TAN, W. T.; LI, J. & COLLADO, L. S. - Production of Bihon-type noodles from maize starch differing in amylose content. Cereal Chemistry. Vol. 81, nº1, 2004, 475-480p.
- TAN, F. J.; DAI, W. T. & HSU, K. C. – Changes in gelatinization and rheological characteristics of japonica rice starch induced by pressure/heat combinations. Journal of Cereal Science. Vol. 49, nº1, 2009, 285-289p.
- TEBA, C. S.; ASCHERI, J. L. R. & CARVALHO, C. W. P. – Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades de pasta de massas alimentícias pré-cozidas de arroz e feijão. Alimentos e Nutrição. Vol. 20, nº 3, 2009, 411-426p.
- TORRES, M. D.; FRADINHO, P.; RAYMUNDO, A. & SOUSA, I. – Thermorheological and textural behavior of gluten-free gels obtained from chestnut and rice flours. Food and Bioprocess Technology. Vol. 6, nº6, 2013, 1-14p.
- TSAO, T.; BEETNER, G.; LORENZ, K. & FREY, A. – Extrusion processing of instant rice spaghetti. Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie. Vol. 9, nº1, 1976, 96-98p.
- TUDORICA, C.M.; KURI, V. & BRENNAN, C. S.. – Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. Agricultural and Food Chemistry. Vol. 50, nº1, 2002, 347-356p.
- VANDEPUTTE, G. E.; DERYCKE, V.; GEEROMS, J. & DELCOUR, J. A. – Rice starches II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. Journal of Cereal Science. Vol. 38, nº1, 2003a, 53-60p.
- VANDEPUTTE, G. E.; VERMEYLEN, R.; GEEROMS, J. & DELCOUR, J. A. – Rice starches I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinization behavior of granular starch. Journal of Cereal Science. Vol. 38, nº1, 2003, 43-52p.

VANDEPUTTE, G. E.; VERMEYLEN, R.; GEEROMS, J. & DELCOUR, J. A.. – Rice starches III: structural aspects provide insight in amylopectin retrogradation properties and gel texture. Journal of Cereal Science. Vol. 38, nº 1, 2003b, 61-68p.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E. & AVILA, L. A. – Arroz: composição e características nutricionais. Ciência Rural. Vol. 38, nº 4, 2008, 1184-1192p.

WANI, A. A.; SINGH, P.; SHAH, M. A.; SCHWEIGGERT-WEISZ, U.; GUL, K. & WANI, I. A. – Rice starch diversity: effects on structural, morphological, thermal and physicochemical properties – A Review. Comprehensive Reviews In Food Science and Food Safety. Vol. 11, nº1, 2012, 417-436p.

WEBER, J. M. – Arroz: Características químicas, culinárias e nutricionais das diferentes variedades consumidas no Brasil. Brasília: Universidade de Brasília - Faculdade de Ciências da Saúde, 2012. 71p. Trabalho de Conclusão de Curso em Nutrição.

WEST, R.; SEETHARAMAN, K. & DUIZER, L. M. – Effect of drying profile and whole grain content on flavor and texture of pasta. Journal of Cereal Science. Vol. 58, nº1, 2013, 82-88p.

XIE, F.; YU, L.; SU, B.; LIU, P.; WANG, J.; LIU, H. & CHEN, L. - Rheological properties of starches with different amylose/amylopectin ratios. Journal of Cereal Science. Vol. 49, nº1, 2009, 371–377p.

YAMAMOTO, H.; MAKITA, E.; OKI, Y. & OTANI, M. – Flow characteristics and gelatinization kinetics of rice starch under strong alkali conditions. Food Hydrocolloids. Vol. 20, nº1, 2006, 9-20p.

ZANDONADI, R. P. – Psyllium como substituto de glúten. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Ciências da saúde, 2006. 107p. Tese de Mestrado em Nutrição Humana.

ZAVAREZE, E. R.; STORCK, C. R.; CASTRO, L. A. S.; SCHIRMER, M. A. & DIAS, A. R. G. – Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. Food Chemistry. Vol.121, nº1, 2010, 358-365p.

ZHU, F.; CAI, Y. Z. & CORKE, H. – Evaluation of Asian salted noodles in the presence of *Amaranthus* betacyanin pigments. Food Chemistry. Vol. 118, nº1, 2010, 663-669p.

ANEXOS

ANEXO I - Avaliação Global de Massas Alimentícias Frescas Isentas de Glúten

Data: ____/____/____ Idade:____ Código da Amostra:_____

Para responder às seguintes questões observe as amostras que lhe são apresentadas.

Cor:

Não gosto Gosto Muito

Odor:

Não gosto Gosto Muito

Seguidamente prove as amostras e responda às questões (o molho não consta da análise)

Sabor estranho:

Não gosto Gosto Muito

Textura:

Não gosto Gosto Muito

Apreciação global:

Não gosto Gosto Muito

Intenção de compra:

De certeza que não compraria De certeza que compraria

Observações:

Abstract

Rice Bran Incorporation as Fiber Source in Bakery Foods

Patrícia Fradinho, Ana Filipa Rocha, Diana Narciso, Isabel de Sousa^() and Anabela Raymundo*

LEAF, Centro de Investigação em Agronomia, Alimentos, Ambiente e Paisagem do ISA-ULisboa, Tapada da Ajuda 1349-017 Lisboa, Portugal

^(*) *Email: isabelsousa@isa.ulisboa.pt*

Recent studies show that c.a one in 100 people worldwide have celiac disease (Mustalahti *et al.*, 2010). The market of gluten-free products is increasing steadily. However, these products have high prices and generally low sensorial acceptance.

In Portugal, about 160 000 tones of paddy rice are annually produced, which leads to high quantities of rice by-products. Rice bran incorporation is seen as an added value to the extent that is rich in fiber, vitamins, minerals, proteins, and lipids and still has a good absorption capacity for water and oil (OECD, 2004).

This work gathers two purposes: i) valorization of by-products from the rice industry (broken rice and rice bran), which accounts for more than 40% of the rice produced; ii) development of added-value goods targeted to celiac population, namely pasta, biscuits, bread and pizza.

All developed gluten-free products were characterized in terms of texture and rheological features. Texture analysis was performed using a texturometer TA-XTplus, rheological behavior was accessed by small-amplitude oscillatory shear (SAOS) measurements in a MARS III, a controlled-stress rheometer coupled with a UTC–Peltier system. The pasta quality parameters were determined according to Fradique *et al.*, 2010. For each developed product the maximum rice bran incorporation level was established.

Abstract

Rheological assessment of carolino rice flour gels for pasta making

Patrícia Fradinho, Ana Filipa Rocha, Isabel de Sousa, Anabela Raymundo

LEAF, Instituto Superior de Agronomia/Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda-Edifício Ferreira Lapa, 1349-017 Lisboa, Portugal

Correspondence to: Anabela Raymundo (anabraymundo@isa.ulisboa.pt)

Rice is a largely consumed cereal, with high nutritional value. However, during dehusking and polishing steps, high quantities of by-products are originated, of which about 15% is broken rice. This by-product can be ground and the resulting flour used to develop added-value gluten free food products.

This study aims the development of gluten-free gel based on *carolino* rice flour from broken rice to future incorporation in a pasta formulation. Aqueous suspensions with 5% to 60% (w/w) flour were prepared, and the viscoelastic behaviour was evaluated using SAOS measurements.

The critical gelation concentration of rice flour was 7% (w/w). The gel with 40% rice flour was selected for pasta incorporation.